



Daniel Filipe da Silva Sousa

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

Consolidação de Revestimentos Artísticos à Base de Argamassas Hidráulicas – O Caso do Mural “Evocação a Fernão Mendes Pinto”

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Maria Paulina Faria Rodrigues, Professora Associada,
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Co-orientador: Emanuela Sara Leite Fragoso, Especialista em Conservação e
Restauro, Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Professor Doutor Nuno Manuel da Costa Guerra

Arguentes: Professor Doutor Luís Gonçalo Correia Baltazar

Vogais: Professora Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março 2016

Consolidação de revestimentos artísticos à base de argamassas hidráulicas – O caso do mural de Evocação a Fernão Mendes Pinto

Copyright © Daniel Filipe da Silva Sousa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à Professora Sara Fragoso por ter proposto o tema desta dissertação. Agradeço a oportunidade de efectuar este trabalho; sem ele não me iria ser possível aprender novas matérias, nomeadamente de Conservação e Restauro.

À Professora Doutora Paulina Faria por ter aceitado o tema proposto, por estar sempre disponível, por me guiar e por nos momentos mais difíceis me incentivar à continuação do bom trabalho.

Ao Engenheiro Vítor Silva, pela constante disponibilidade, por me ter transmitido todo o conhecimento necessário, por me ter tirado todas as dúvidas e principalmente por me chamar à razão quando tal foi necessário.

A todos os que me acompanharam nestes 5 anos, em especial à Ana Amorim.

Ao Miguel Peres e ao Luís Leitão por serem a minha referência. Admiro-vos pela vossa inteligência, perspicácia e sobretudo pela capacidade de trabalho. Obrigado por me ajudarem.

Ao Hugo Baldinho, António Lança, David Lopes, Diogo Ramires, Vasco de Sousa, Pedro Coutinho e André Brígida. Obrigado pelos momentos extra-faculdade que me proporcionaram.

Aos meus pais por me terem dado a possibilidade de estudar.

À minha irmã Sofia.

Aos meus avós maternos.

Ao meu avô António.

À minha namorada Sara Moreira. Sobre tudo a ela. Obrigado por acreditares e incentivares a dar continuidade ao bom trabalho. Daqui para a frente é a minha vez de ajudar. Esta dissertação é-te dedicada. Obrigado por tudo.

RESUMO

Os revestimentos à base de argamassas cimentícias começaram a ser amplamente utilizados na segunda metade do século XX. Entretanto, também nestes materiais começaram a aparecer anomalias inerentes, nomeadamente perda de coesão e de adesão, o que requer uma avaliação rigorosa e metodologias de intervenção adequadas para cada caso. A investigação das anomalias e necessidades de intervenção no mural “Evocação a Fernão Mendes Pinto” realizado com argamassas cimentícias revela precisamente a necessidade de maior conhecimento acerca da consolidação destes materiais.

O mural está dividido em 3 fracções: central, esquerda e direita. Os suportes das fracções esquerda e direita são de alvenaria de tijolo enquanto o da fracção central é em betão armado. Cimento Portland cinzento e cimento branco foram utilizados nas argamassas de revestimento artísticas para recriar figuras. A metodologia de pintura utilizada foi a técnica de *fresco* e foram utilizados cinco pigmentos.

A campanha experimental iniciou-se com a produção de provetes quadrados de argamassa com os dois cimentos. Foram realizados ensaios de caracterização da argamassa no estado fresco e os provetes foram colocados em cura durante 90 dias. Complementarmente, outros provetes de cimento branco foram produzidos com o mesmo traço volumétrico e, 24 horas após a sua realização, foram pigmentados pela técnica de *fresco*, com dois pigmentos. Foram registadas as coordenadas colorimétricas. Posteriormente, todos os 36 foram colocados em exposição natural, com orientação sul. Após 28 dias de envelhecimento natural, os provetes foram divididos em grupos: uns foram utilizados como provetes de controlo, outros foram consolidados com NanoRestore®, outros com NanoEstel® e os restantes com uma mistura combinada de ambos os consolidantes. 28 dias após a consolidação, os provetes de argamassa foram fisicamente ensaiados: coesão superficial, dureza superficial e capacidade de absorção sob baixa pressão. Registaram-se as coordenadas colorimétricas de modo a avaliar a influência do consolidante na cor.

Depois de aplicar essa consolidação nos provetes pigmentados, foram realizados os mesmos ensaios, dando maior ênfase às coordenadas colorimétricas, a fim de ser mais perceptível a variação colorimétrica real que o produto consolidante induz na pigmentação. Apresentam-se os resultados obtidos e recomendações para intervenções de consolidação em revestimentos artísticos cimentícios.

Em suma, o estudo desenvolvido pela presente dissertação tem como objectivo específico avaliar de que forma a aplicação de diferentes consolidantes altera as características das argamassas artísticas utilizadas no mural.

Palavras-chave: Conservação, Revestimento hidráulico artístico, Consolidação superficial, Produto consolidante nano-estruturado.

ABSTRACT

Artistic coatings are part of our cities patrimony. Based on cement mortars, they have been widely used in the second half of the twentieth century. These days anomalies occurs in these coatings, including lack of adhesion and loss of cohesion, which requires a thorough assessment and appropriate intervention methodologies for each case. This investigation arises from the need to understand the behavior of consolidants in cementitious artistic mortar coatings, focusing on the case study of mural “Evocação a Fernão Mendes Pinto”.

The mural is divided into three fractions: central, left and right. Portland and white cements were used, the later for some of the outer layer. The painting technique used in the wall is *fresco* and five pigments have been used.

The experimental campaign began with the production of squared specimen of both cement Portland. Fresh mortar characterization was made and the specimens were placed in controlled hygrothermal conditions for 90 days. Supplementary, other white cement specimens were produced with the same proportion and w/c ratio and, after 24 hours, these specimens were pigmented by *fresco* technique. Then a colorimeter was used for CIE Lab coordinates register. The 36 specimens were then placed on the lab roof facing south, so as to be subjected to the various weather conditions. Upon being exposed to atmospheric conditions for 28 days, the specimens with each type of cement were divided into different groups: Control, NanoRestore®, NanoEstel and a blend of NanoRestore® and NanoEstel®. 28 days after the application of the products, the mortar specimens were physically tested, namely surface hardness, cohesion and water absorption capacity under low pressure. The colorimeter was again worn to assess the variation of color.

After applying the consolidation product on the specimens, the same tests were performed, with greater emphasis on colorimetric coordinates in order to be more noticeable the actual colorimetric variation that consolidating product induces on the pigmentation. The results and recommendations for consolidation interventions on cementitious coatings are presented.

Keywords: Conservation, Hydraulic artistic coating, Surface consolidation, Nanostructured consolidation product.

Índice de texto

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO	1
1.2 OBJECTIVOS E METODOLOGIA	2
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2. CONSOLIDAÇÃO DE REVESTIMENTOS	5
2.1 ENQUADRAMENTO	5
2.2 LIGANTES HIDRÁULICOS, PASTAS E ARGAMASSAS	5
2.3 CONSOLIDAÇÃO	5
2.4 PRODUTOS DE CONSOLIDAÇÃO NANO-ESTRUTURADOS	7
2.4.1 Nano-cal	8
2.4.2 Nano-sílica	9
2.4.3 Nano-cal combinada com nano-sílica	10
3. MURAL “EVOCAÇÃO A FERNÃO MENDES PINTO”	13
3.1 ENQUADRAMENTO	13
3.2 CARACTERIZAÇÃO HISTÓRICA E ARTÍSTICA DO MURAL DE EVOCAÇÃO A FERNÃO MENDES PINTO	13
3.3 CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL	14
3.4 CARACTERIZAÇÃO ARTÍSTICA E DO REVESTIMENTO	16
3.5 ESTADO DE CONSERVAÇÃO DO MURAL	16
3.5.1 Perda de aderência	17
3.5.2 Perda de coesão	17
3.5.3 Humidade	19
3.5.4 Ataque biológico	21
3.5.5 Erosão	22
3.5.6 Sujidade/Poluição	22
4. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL	23
4.1 ENQUADRAMENTO	23
4.2 MATERIAIS UTILIZADOS E SUA CARACTERIZAÇÃO	23
4.2.1 Cimentos das argamassas dos provetes	23
4.2.2 Areia	24
4.2.3 Água	24

4.2.4	Baridade.....	24
4.2.5	Pigmentos para os provetes	25
4.2.6	Consolidantes a aplicar nos provetes	25
4.3	ORGANIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA CAMPANHA EXPERIMENTAL	26
4.3.1	Primeira fase experimental – Produção dos provetes	26
4.3.2	Segunda fase experimental – Aplicação dos consolidantes	27
4.3.3	Terceira fase experimental – Ensaio dos provetes não pigmentados	27
4.3.4	Quarta fase experimental – Aplicação dos consolidantes nos provetes pigmentados... 27	
4.3.5	Quinta fase experimental – Ensaio dos provetes pigmentados	28
4.4	PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS	29
4.5	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	30
4.5.1	Consistência por espalhamento	30
4.5.2	Massa volúmica em estado fresco	30
4.5.3	Teor em ar	30
4.6	PRODUÇÃO DOS PROVETES.....	30
4.7	IDENTIFICAÇÃO DOS PROVETES.....	31
4.8	CONSOLIDAÇÃO DAS ARGAMASSAS ENDURECIDAS	32
4.9	CAMPANHA EXPERIMENTAL PARA VALIDAÇÃO DOS PROVETES PRODUZIDOS	34
4.10	PROCEDIMENTOS DE ENSAIO SOBRE ARGAMASSAS ENDURECIDAS.....	35
4.10.1	Avaliação colorimétrica	35
4.10.2	Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten	37
4.10.3	Dureza superficial – Durómetro Shore A e esclerómetro pendular	38
4.10.4	Coesão Superficial	39
4.10.5	Resistência à abrasão – Desgaste superficial	39
4.10.6	Absorção de água por capilaridade	40
4.10.7	Secagem unidireccional	41
5.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	43
5.1	ENQUADRAMENTO	43
5.2	RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	43
5.3	RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS EM ARGAMASSAS CONSOLIDADAS NÃO PIGMENTADAS.... 43	
5.3.1	Avaliação colorimétrica	43
5.3.2	Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten	45

5.3.3	Dureza superficial – Durómetro <i>Shore</i> A e esclerómetro pendular	46
5.3.4	Coesão superficial.....	47
5.3.5	Resistência à abrasão – Desgaste superficial	48
5.4	RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS <i>IN-SITU</i>	49
5.4.1	Porosidade aberta	49
5.4.2	Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten	49
5.4.3	Dureza superficial – Durómetro <i>Shore</i> A e esclerómetro pendular	49
5.5	AFERIÇÃO DA MELHOR SOLUÇÃO	50
5.6	RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS EM ARGAMASSAS CONSOLIDADAS PIGMENTADAS.....	52
5.6.1	Avaliação colorimétrica	52
5.6.2	Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten	57
5.6.3	Dureza superficial – Durómetro <i>Shore</i> A e esclerómetro pendular	57
5.6.4	Coesão superficial e resistência à abrasão	58
5.6.5	Absorção de água por capilaridade	59
5.6.6	Secagem unidireccional	60
6.	CONCLUSÃO	63
6.1	CONCLUSÕES FINAIS.....	63
6.2	TRABALHOS FUTUROS.....	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	ANEXOS	
	ANEXO I – FICHAS TÉCNICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS	A1
	ANEXO II – TABELAS DE RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS E DE ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO.....	A11
	ANEXO III – TABELAS DE RESULTADOS DE ENSAIOS DAS ARGAMASSAS ENDURECIDAS.....	A13

Índice de figuras

FIGURA 2.1 – ABORDAGEM “TOP TO BOTTOM” OU “BOTTOM TO TOP”	8
FIGURA 3.1 - MURAL 1985	13
FIGURA 3.2 - MURAL 2015	13
FIGURA 3.3 – TERRENO AJARDINADO A TARDOZ DO MURAL	14
FIGURA 3.4 – REPRESENTAÇÃO DA FACHADA DO MURAL	14
FIGURA 3.5 – CORTE A.....	15
FIGURA 3.6 – CORTE B.....	15
FIGURA 3.7 – CORTE C.....	15
FIGURA 3.8 – A) PROVETE DE ARGAMASSA; B) PROVETE DE ARGAMASSA SATURADO COM PIGMENTO	16
FIGURA 3.9 – A) DESPRENDIMENTO; B) MOVIMENTO DIFERENCIAL DO SUPORTE	17
FIGURA 3.10 – A) FOTO AÉREA DA LOCALIZAÇÃO DO MURAL; B) ESTRADA N377-1	18
FIGURA 3.11 – A) B) PERDA DE COESÃO DO PIGMENTO DO MURAL 2015 (SINALIZADO A VERMELHO)	18
FIGURA 3.12 – LOCALIZAÇÃO DA BOA COESÃO NO MURAL.....	18
FIGURA 3.13 – TUBAGEM.....	19
FIGURA 3.14 – LOCALIZAÇÃO DAS FISSURAS NO MURAL	20
FIGURA 3.15 – EXEMPLO DE FISSURAS PRESENTES NO MURAL (FRACÇÃO ESQUERDA – ZONA DE BETÃO).....	20
FIGURA 3.16 – A) ENTUPIAMENTO DA CALEIRA COM VEGETAÇÃO; B) C) ESCORRÊNCIAS	20
FIGURA 3.17 – LOCALIZAÇÃO DAS ESCORRÊNCIAS PRESENTES NO MURAL	20
FIGURA 3.18 – LOCALIZAÇÃO E ESCALA DE PRESENÇA DE MICROORGANISMOS VEGETAIS OU ANIMAIS.....	21
FIGURA 3.19 – MICROORGANISMOS PRESENTES NO MURAL (FRACÇÃO ESQUERDA – ZONA BETÃO)	21
FIGURA 3.20 – LOCALIZAÇÃO DAS ZONAS COM <i>BOMBING</i> NO MURAL	22
FIGURA 4.1 – A) CIMENTO PORTLAND CINZENTO B) CIMENTO PORTLAND BRANCO	23
FIGURA 4.2 – CURVA GRANULOMÉTRICA DA AREIA DE RIO UTILIZADA NAS ARGAMASSAS.....	24
FIGURA 4.3 – A) OCRE ALVALADE; B) VERMELHO BAYER.....	25
FIGURA 4.4 – PROVETES BRANCOS NÃO PIGMENTADOS, PROVETES PIGMENTADOS E PROVETES CINZENTOS EM ENVELHECIMENTO NATURAL	27
FIGURA 4.5 – ESQUEMA DA TERCEIRA FASE EXPERIMENTAL.....	28
FIGURA 4.6 – ESQUEMA DA QUARTA E QUINTA FASE EXPERIMENTAL.....	29
FIGURA 4.7 – PROVETES DE CIMENTO PORTLAND CINZENTO E BRANCO EM CURA	31
FIGURA 4.8 – A) VERMELHO BAYER; B) OCRE ALVALADE.....	31
FIGURA 4.9 – PROVETES PIGMENTADOS COM – A) VERMELHO BAYER; B) OCRE ALVALADE.....	32
FIGURA 4.10 – A) NANOESTEL®; B) NANORESTORE®, NEBULIZADOR E FUNIL; C) SOLUÇÃO DE NANORESTORE®; D) SOLUÇÃO DE NANOESTEL®; E) NEBULIZAÇÃO; F) PROVETES CONSOLIDADOS.....	33
FIGURA 4.11 – APLICAÇÃO DO CONSOLIDANTE NOS PROVETES PIGMENTADOS.....	33
FIGURA 4.12 – GELIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO NR+NE	33
FIGURA 4.13 – A) EXSICADOR COM PROVETES; B) BALANÇA PARA PESAGEM HIDRÓSTATICA	35
FIGURA 4.14 – ESPAÇO CIELAB	36
FIGURA 4.15 – A) PROVETE COM ZONAS E POSIÇÃO DOS PONTOS; B) COLORÍMETRO DATACOLOR INTERNATIONAL.....	36
FIGURA 4.16 – ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA A BAIXA PRESSÃO – TUBOS DE KARSTEN	37
FIGURA 4.17 – A) ZONA PIGMENTADA COM CAL; B) ZONA A VERMELHO E AMARELO.....	38
FIGURA 4.18 – DURÓMETRO PCE	38
FIGURA 4.19 – ESCLERÓMETRO PM	39
FIGURA 4.20 – A) FITA-COLA TESA®; B) EXEMPLO DE RECTÂNGULO DE FITA-COLA	39
FIGURA 4.21 – A) MÁQUINA ADAPTADA AO ENSAIO; B) ESCOVA UTILIZADA	40
FIGURA 4.22 – A) RESINA EPÓXI; B) PROVETE ISOLADO COM RESINA EPÓXI; C) PROVETE SOBRE LÂMINA DE ÁGUA.....	41
FIGURA 4.23 – PROVETE ENVOLVIDO EM CELOFANE	42
FIGURA 5.1 – VARIAÇÃO DA COORDENADA L* EM % EM RELAÇÃO AOS PROVETES DE REFERÊNCIA.....	44
FIGURA 5.2 – VARIAÇÃO TOTAL DA COR ΔE ENTRE CONSOLIDANTES	45
FIGURA 5.3 – QUANTIDADE DE ÁGUA ABSORVIDA PELOS PROVETES	46
FIGURA 5.4 – ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO NAS ARGAMASSAS CONSOLIDADAS	46

FIGURA 5.5 – DUREZA SUPERFICIAL DURÓMETRO <i>SHORE A</i> E ESCLERÓMETRO PENDULAR.....	47
FIGURA 5.6 – MATERIAL ADERIDO POR FALTA DE COESÃO A) CTRL B) NE C) NR D) NR+NE	48
FIGURA 5.7 – COESÃO SUPERFICIAL DAS ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND CINZENTO E BRANCO.....	48
FIGURA 5.8 – RESISTÊNCIA À ABRASÃO DAS ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND BRANCO E CINZENTO	48
FIGURA 5.9 – ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO – TUBOS DE KARSTEN	49
FIGURA 5.10 – DUREZA SUPERFICIAL DURÓMETRO <i>SHORE A</i> E ESCLERÓMETRO PENDULAR.....	50
FIGURA 5.11 – A) COR ORIGINAL (OA_0); B) COR 28 DIAS APÓS ENVELHECIMENTO NATURAL (OA_28); C) COR 28 DIAS APÓS CONSOLIDAÇÃO (NE_OA)	52
FIGURA 5.12 – À ESQUERDA PROVETE COM 28 DIAS APÓS CONSOLIDAÇÃO; À DIREITA PROVETE DE CONTROLO	53
FIGURA 5.13 – VARIAÇÃO DA COORDENADA B* AOS 0, 8 E 28 DIAS DE ENVELHECIMENTO NATURAL OCRE ALVALADE.....	53
FIGURA 5.14 – VARIAÇÃO DA COORDENADA L* AOS 0, 8 E 28 DIAS DE ENVELHECIMENTO NATURAL.....	53
FIGURA 5.15 – VARIAÇÃO TOTAL DA COR ΔE DOS PROVETES PIGMENTADOS COM OCRE ALVALADE	53
FIGURA 5.16 – RECUPERAÇÃO DA COORDENADA B* COM APLICAÇÃO DO CONSOLIDANTE NANOESTEL®	54
FIGURA 5.17 – RECUPERAÇÃO DA COORDENADA L* COM A APLICAÇÃO DO CONSOLIDANTE NANOESTEL® OCRE ALVALADE	54
FIGURA 5.18 – A) COR ORIGINAL (VB_0); B) COR COM 28 DIAS DE ENVELHECIMENTO NATURAL (VB_28); C) COR 28 DIAS APÓS CONSOLIDAÇÃO (NE_VB).....	55
FIGURA 5.19 – À ESQUERDA PROVETE COM 28 DIAS APÓS CONSOLIDAÇÃO; À DIREITA PROVETE DE REFERÊNCIA COM 28 DIAS DE ENVELHECIMENTO NATURAL	55
FIGURA 5.20 – VARIAÇÃO DA COORDENADA A* AOS 0, 8 E 28 DIAS DE ENVELHECIMENTO NATURAL	55
FIGURA 5.21 – VARIAÇÃO DA COORDENADA L* AOS 0, 8 E 28 DIAS DE ENVELHECIMENTO NATURAL VERMELHO BAYER	55
FIGURA 5.22 – VARIAÇÃO TOTAL DA COR ΔE DOS PROVETES PIGMENTADOS COM VERMELHO BAYER.....	56
FIGURA 5.23 – RECUPERAÇÃO DA COORDENADA A* COM APLICAÇÃO DO CONSOLIDANTE NANOESTEL®	56
FIGURA 5.24 – RECUPERAÇÃO DA COORDENADA L* COM APLICAÇÃO DO CONSOLIDANTE NANOESTEL® VERMELHO BAYER	57
FIGURA 5.25 – ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO – TUBOS DE KARSTEN – ARGAMASSAS PIGMENTADAS	57
FIGURA 5.26 – DUREZA SUPERFICIAL POR DURÓMETRO <i>SHORE A</i> E ESCLERÓMETRO PENDULAR.....	58
FIGURA 5.27 – A) FITA-COLA COM PIGMENTO PRÉ-CONSOLIDAÇÃO; B) RESÍDUO DE PIGMENTO DE PROVETE NÃO CONSOLIDADO; C) RESÍDUO DE PIGMENTO APÓS CONSOLIDAÇÃO	58
FIGURA 5.28 – PERDAS DE MASSA POR COESÃO SUPERFICIAL E RESISTÊNCIA À ABRASÃO	59
FIGURA 5.29 – CURVAS DE CAPILARIDADE E PRIMEIROS 30 MINUTOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE	59
FIGURA 5.30 – COEFICIENTE DE CAPILARIDADE E VALOR ASSIMPTÓTICO	60
FIGURA 5.31 – CURVA DA PRIMEIRA FASE DE SECAGEM	60
FIGURA 5.32 – CURVA DA SEGUNDA FASE DE SECAGEM	61
FIGURA 5.33 – COMPARAÇÃO ENTRE IS, TS1 E TS2 PARA OS PIGMENTOS OA E VB.....	61
FIGURA 5.34 – COMPARAÇÃO ENTRE IS E CA PARA OS PIGMENTOS OA E VB	62

Índice de tabelas

TABELA 2.1 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS CONSOLIDANTES ORGÂNICOS E INORGÂNICOS	7
TABELA 4.1 – BARIDADE DOS MATERIAIS UTILIZADOS PARA PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS	25
TABELA 4.2 – ENSAIOS REALIZADOS 28 DIAS APÓS CONSOLIDAÇÃO	28
TABELA 4.3 – QUANTIDADES DOS COMPONENTES DAS ARGAMASSAS.....	29
TABELA 4.4 – IDENTIFICAÇÃO DOS PROVETES	32
TABELA 4.5 – QUANTIDADE DE NR+NE, NE E NR APLICADOS NUM PROVETE.....	34
TABELA 4.6 – CONSOLIDANTES E RESPECTIVA SIMBOLOGIA.	34
TABELA 5.1 – CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO	43
TABELA 5.2 – MEDIA E DESVIO PADRÃO DOS RESULTADOS DA POROSIDADE ABERTA	49
TABELA 5.3 - SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DAS ARGAMASSAS CONSOLIDADAS (MÉDIA E DESVIO-PADRÃO).....	51
TABELA 5.4 – RESUMO DOS ENSAIOS COM RESPECTIVA MELHOR SOLUÇÃO.....	51
TABELA A.II 1 – ENSAIO DE BARIDADE	A11
TABELA A.II 2 – VALORES DE ESPALHAMENTO E TEOR EM AR	A12
TABELA A.II 3 – ENSAIO DE POROSIDADE ABERTA	A12
TABELA A.III 1 – ÁGUA ABSORVIDA SOB BAIXA PRESSÃO PELOS PROVETES DE CONTROLO – TUBOS DE KARSTEN	A13
TABELA A.III 2 – ÁGUA ABSORVIDA SOB BAIXA PRESSÃO PELOS PROVETES DE CONTROLO PIGMENTADOS – TUBOS DE KARSTEN.....	A14
TABELA A.III 3 – ÁGUA ABSORVIDA SOB BAIXA PRESSÃO PELOS PROVETES CONSOLIDADOS COM NE – TUBOS DE KARSTEN	A15
TABELA A.III 4 – ÁGUA ABSORVIDA SOB BAIXA PRESSÃO PELOS PROVETES CONSOLIDADOS COM NR – TUBOS DE KARSTEN	A16
TABELA A.III 5 – ÁGUA ABSORVIDA SOB BAIXA PRESSÃO PELOS PROVETES CONSOLIDADOS COM NR+NE – TUBOS DE KARSTEN.....	A17
TABELA A.III 6 – ÁGUA ABSORVIDA SOB BAIXA PRESSÃO PELOS PROVETES PIGMENTADOS CONSOLIDADOS COM NE – TUBOS DE KARSTEN	A18
TABELA A.III 7 – TABELA DE RESULTADOS DO ENSAIO DE DUREZA SUPERFICIAL – DURÓMETRO <i>SHORE A</i>.....	A19
TABELA A.III 8 – TABELA DE RESULTADOS DO ENSAIO DE DUREZA SUPERFICIAL – ESCLERÓMETRO PENDULAR	A20
TABELA A.III 9 – ENSAIO DE COESÃO SUPERFICIAL	A21
TABELA A.III 10 – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO	A22
TABELA A.III 11 – REGISTO DAS COORDENADAS COLORIMÉTRICAS DOS PROVETES PIGMENTADOS COM VB – ENVELHECIMENTO NATURAL	A23
TABELA A.III 12 – — REGISTO DAS COORDENADAS COLORIMÉTRICAS DOS PROVETES PIGMENTADOS COM OA – ENVELHECIMENTO NATURAL	A24
TABELA A.III 13 – REGISTO DAS COORDENADAS COLORIMÉTRICAS DOS PROVETES DE CONTROLO APÓS 28 DIAS DE ENVELHECIMENTO NATURAL	A25
TABELA A.III 14 – REGISTO DAS COORDENADAS COLORIMÉTRICAS DOS PROVETES CONSOLIDADOS APÓS 28 DIAS DE CONSOLIDAÇÃO.....	A25
TABELA A.III 15 – REGISTO DAS COORDENADAS COLORIMÉTRICAS DOS PROVETES PIGMENTADOS APÓS 28 DIAS DE CONSOLIDAÇÃO	A26
TABELA A.III 16 – ÁGUA ABSORVIDA PELOS PROVETES PIGMENTADOS COM VB – ENSAIO DE CAPILARIDADE.....	A27
TABELA A.III 17 – ÁGUA ABSORVIDA PELOS PROVETES PIGMENTADOS COM OA – ENSAIO DE CAPILARIDADE	A27
TABELA A.III 18 – QUANTIDADE DE ÁGUA LIBERTADA PELOS PROVETES CONSOLIDADOS E PIGMENTADOS COM VB – ENSAIO DE SECAGEM	A28
TABELA A.III 19 – QUANTIDADE DE ÁGUA LIBERTADA PELOS PROVETES CONSOLIDADOS E PIGMENTADOS COM OA – ENSAIO DE SECAGEM	A29
TABELA A.III 20 – VALORES DE TS1, TS2 E IS OBTIDOS NO ENSAIO DE SECAGEM PARA OS PROVETES PIGMENTADOS COM OA	A29
TABELA A.III 21 – VALORES DE TS1, TS2 E IS OBTIDOS NO ENSAIO DE SECAGEM PARA OS PROVETES PIGMENTADOS COM VB.....	A30

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A conservação do património em geral e do património histórico edificado em particular tem merecido uma crescente atenção em Portugal nos últimos anos, à semelhança da tendência generalizada em toda a Europa e um pouco por todo o mundo numa progressiva consciencialização da importância daqueles bens. Esse facto tem dado origem a um considerável incremento do número de intervenções em todo o País, do qual emergem novos problemas e desafios, designadamente no que se refere aos aspectos da qualidade nessas intervenções (Henriques 1991).

O número cada vez mais elevado de obras-de-arte criadas nos séculos XX e XXI com o cimento como material mais predominante (em argamassas e betões), conduziram a que novas técnicas e materiais de conservação fossem objecto de estudo (San Andrés-Moya et al. 2013). A perda de coesão por parte destes produtos da construção é uma das anomalias mais comuns, degradando significativamente a estética da obra. Este trabalho vai-se focar no caso dos revestimentos com argamassas. No caso de revestimentos cimentícios casos de destacamento e de perda de pigmentação são também frequentes.

O mural “Evocação a Fernão Mendes Pinto” trata-se de uma obra elaborada na década de 80 para celebrar os 500 anos da morte do aventureiro Português. A obra apresenta várias técnicas artísticas, como *fresco* e esquadrelamento da argamassa, para que, deste modo se enaltecesse os ideais a que o mural se propunha a representar. Ao longo dos anos a estrutura esteve sujeita a vários agentes climáticos e acções mecânicas que conduziram a um elevado estado de degradação da sua camada pictórica. As acções que geraram o actual estado de degradação conduziram a duas anomalias mais predominantes: falta de coesão e ataque biológico (Simas et al. 2015).

Existem várias técnicas e metodologias que permitem a mitigação das anomalias presentes no mural. Contudo, todas metodologias, dado a natureza da obra ser a conservação do mural, deverão respeitar a compatibilidade entre materiais antigos e recentes e simultaneamente não introduzir alterações significativas na estética. Se por um lado a extracção dos agentes biológicos presentes no mural é um processo pacífico a restituição da coesão é um processo irreversível e deve ser objecto de um minucioso estudo.

Dada a necessidade de encontrar novos produtos para a consolidação de pedras e argamassas, consolidantes com propriedades inovadoras e com um enorme potencial de aplicação têm sido objecto de estudo, nomeadamente os consolidantes nano-estruturados (Calia et al. 2012). Os produtos nano-estruturados de sílica e cal são usualmente recomendados para obras de conservação. A nano-sílica é comumente recomendada para a restituição da coesão superficial e como fixador de pigmentos, comitantemente restituindo algumas das características mecânicas e higrotérmicas que se perderam ao longo do tempo. (Zornoza-Indart & Lopez-Arce 2015; Barberena-Fernandez et al. 2014). A nano-cal por seu lado tem uma maior capacidade de penetração, contudo apresenta-se menos eficaz na restituição da coesão superficial e altera significativamente a tonalidade das cores presentes nos murais devido ao efeito *bloom* (Baglioni et al. 2012).

Desta forma, e com o interesse em optar pela melhor escolha do produto consolidante a aplicar *in-situ* no mural “Evocação a Fernão Mendes Pinto”, na presente dissertação elabora-se um estudo detalhado sobre a influência dos produtos nano-estruturados de sílica e cal em suportes de argamassas de cimento Portland.

1.2 Objectivos e metodologia

A presente dissertação tem como principal objectivo a contribuição para um conhecimento mais aprofundado de como conservar revestimentos artísticos cimentícios e particularmente qual a influência de diferentes tipos de consolidantes. A aplicação do consolidante pressupõe um elevado estado de degradação das argamassas, nomeadamente por perda de coesão, pelo que o estudo efectuado pretende aferir quais as alterações obtidas em termos de aumento de resistências mecânicas, alterações na capacidade de absorção de água por capilaridade e sob baixa pressão, assim como alterações cromáticas que os diferentes consolidantes possam introduzir nos provetes.

De modo a simular a perda de coesão foram elaborados laboratorialmente provetes de argamassas de cimento Portland cinzento e de cimento branco ao traço de 1:6 (cimento:areia) em volume, que foram ensaiados antes e após a aplicação de diferentes sistemas de consolidação. Esses ensaios permitem avaliar as características mecânicas, como por exemplo, o ensaio de durómetro *Shore A* e esclerómetro pendular, ensaios de coesão superficial e de resistência à abrasão. Como o objectivo do presente estudo é a aplicação da melhor solução de consolidação numa obra de conservação do caso de estudo mural “Evocação a Fernão Mendes Pinto”, foram também avaliadas, por meio de um colorímetro, a variação das coordenadas colorimétricas das amostras pigmentadas antes e após envelhecimento natural embora só durante um período curto.

A melhor solução encontrada na dissertação irá ser aplicada *in-situ* numa intervenção de conservação no mural.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação foi dividida em sete capítulos, nomeadamente introdução, consolidação de revestimentos, mural “Evocação a Fernão Mendes Pinto”, desenvolvimento experimental, procedimentos de ensaio em argamassas endurecidas consolidadas, apresentação e discussão de resultados e por último conclusões.

Capítulo 2 – Através de pesquisa bibliográfica, elaborou-se uma síntese do estado do conhecimento de consolidação, nomeadamente, a introdução de conceitos de nanotecnologia, assim como uma breve introdução aos consolidantes nano-estruturados de cal e sílica e ambos combinados. Neste capítulo são também comparados resultados obtidos por outros autores, quer em suportes de pedra e argamassa de cal aérea como em argamassa de cimento Portland.

Capítulo 3 – apresenta-se a caracterização artística e estrutural do mural e elabora-se o levantamento das anomalias presentes no mesmo.

Capítulo 4 – descrevem-se os seguintes passos efectuados durante a campanha experimental:

- o faseamento da campanha experimental, apresentando os materiais utilizados e uma breve descrição das características dos consolidantes;
- descrição da preparação dos provetes de cimento Portland cinzento e branco, assim como a caracterização das matérias-primas utilizadas para a elaboração dos mesmos e identificação das formulações utilizadas;
- descrição dos ensaios e apresentação dos resultados obtidos para argamassas no estado fresco;
- validação dos provetes: por meio de ensaios realizados em laboratório, analisou-se a porosidade, absorção de água sob baixa pressão, dureza superficial por durómetro e esclerómetro pendular, de amostras retiradas do mural e *in-situ*;
- descrição do método de aplicação dos consolidantes nos provetes realizados em laboratório.
- procedimentos dos ensaios realizados em argamassas endurecidas consolidadas, não pigmentadas e pigmentadas, em que se descrevem todos os ensaios realizados de modo a avaliar o desempenho dos consolidantes.

Capítulo 5 – são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais e *in-situ*. Os resultados são expostos em três fases: argamassas endurecidas consolidadas sem pigmento, *in-situ* e argamassas endurecidas pigmentadas com os ocre Alvalade e Vermelho Bayer.

Capítulo 6 – são desenvolvidas as conclusões da presente dissertação assim com algumas propostas para desenvolvimentos futuros.

2. CONSOLIDAÇÃO DE REVESTIMENTOS

2.1 Enquadramento

Neste capítulo apresenta-se uma síntese bibliográfica dos ligantes utilizados para a produção das argamassas e também dos produtos nano-estruturados utilizados para a consolidação dos provetes.

2.2 Ligantes hidráulicos, pastas e argamassas

Os ligantes são materiais com capacidade de agregar partículas e funcionam como elementos activos de ligação entre os componentes das argamassas. Quando misturados com água na forma de pó fino geram uma pasta que tem capacidade de endurecer e ganhar presa através de reacções de hidratação e/ou carbonatação e possui um poder de colagem ao seu suporte. Ao adicionar-se areia a essa pasta obtêm-se argamassas. Os ligantes hidráulicos distinguem-se por ganharem presa e endurecerem por via de reacções de hidratação, o que apenas acontece com a presença da água no processo. Em ligantes aéreos, o endurecimento e presa processa-se por carbonatação o que torna o processo mais lento. Desta feita, as resistências mecânicas de pastas e argamassas com estes materiais são adquiridas na sua totalidade num espaço temporal mais elevado em comparação com os ligantes hidráulicos.

O cimento é o ligante mais utilizado em argamassas pois este produto apresenta melhores resistências mecânicas quando comparado com outros ligantes, como por exemplo as cals, e num espaço de tempo mais curto. No entanto, as argamassas de cimento estão associadas a uma reduzida capacidade de deformação, menor permeabilidade ao vapor de água e porosidade inferior em comparação às argamassas de cal, especialmente aérea. A capacidade de desenvolver processo de endurecimento e manter ou não as suas propriedades dentro de água é condicionada pelo índice de hidraulicidade das matérias-primas utilizadas para a produção do ligante, sendo o teor em argila determinante para o desenvolvimento destas características. A capacidade da pasta ou argamassa para desenvolver presa e endurecer na presença da água, bem como a velocidade com que a presa se desenvolve, é função do índice de hidraulicidade (Faria 2004).

2.3 Consolidação

O crescente número de obras-de-arte do século XX e XXI, realizadas à base de materiais cimentícios, geram anomalias diferentes das que se conheciam da conservação tradicional. O seu surgimento tem promovido a necessidade de estudo para procurar soluções adequadas para este novo tipo de materiais a conservar (Moon et al. 2007).

Intervenções em revestimentos com argamassas de cimento Portland e esculturas de betão merecem especial atenção pois, apesar da alegada durabilidade destes materiais, as anomalias começam a surgir em alguns bens culturais devido a factores intrínsecos associados à sua produção, a factores extrínsecos relacionados com manutenção e localização e aos agentes atmosféricos a que se encontram sujeitos. Falta de coesão em betão armado pode induzir à corrosão das suas armaduras e posteriormente à desintegração da estrutura. A argamassa em si pode também estar sujeita à deterioração resultante da sua exposição aos elementos ambientais agressivos. Como tal, existe actualmente um elevado número de consolidantes no mercado que estão aptos para a conservação do património. Os requisitos para tais produtos incluem a não modificação estética da obra, compatibilidade com os materiais constituintes, estabilidade a longo prazo e não produção de subprodutos que possam danificar a estrutura original (San Andrés-Moya et al. 2013).

Dentro do campo da conservação os limites são concebidos para garantir um mínimo de intervenção e respeito máximo pela originalidade (Barberena-Fernandez et al. 2015). No entanto, as propostas de validação dos consolidantes de argamassas e sua adaptação às recomendações internacionais sobre a conservação do património têm sido escassamente abordadas na literatura científica (Rojas 2010; Sandrolini et al. 2012).

Por definição, um revestimento apresenta perda coesão quando as suas partículas têm um enfraquecimento de ligações entre elas, conduzindo à diminuição da resistência mecânica e tornando a argamassa friável como consequência da perda de ligante por acções físicas ou químicas (Tavares & Veiga 2007). A perda de coesão em revestimentos aparece principalmente devido à porosidade e higroscopicidade das argamassas. A higroscopicidade faz com que os revestimentos sejam mais ou menos susceptíveis aos diversos agentes externos que causam degradação, entre eles o ambiente, o clima e vários agentes de origem química, física e biológica. As argamassas tornam-se friáveis e susceptíveis à perda de material por desagregação, farinação e pulverização, devido às baixas resistências (Magalhães 2002; Tavares 2009).

A perda de coesão pode estar também intrinsecamente ligada à presença de sais no interior da estrutura porosa das argamassas. Os ciclos de humedecimento e secagem afectam a coesão interna das partículas, associados aos ciclos de cristalização e dissolução dos sais. Os sais podem ter variadas proveniências como, por exemplo, nevoeiro salino, poluição atmosférica, solo e os próprios materiais utilizados na elaboração dos revestimentos (Pascoal et al. 2015; Tavares & Veiga 2011). A necessidade de consolidação de revestimentos com perda de coesão surge, geralmente, quando estes apresentam um valor artístico elevado. Esta importante fase de intervenção conservativa deve ser levada a cabo através da utilização de produtos compatíveis com o revestimento (Pascoal et al. 2015).

Dado o elevado valor patrimonial que a maioria das obras de conservação têm, a escolha adequada do consolidante a aplicar é fundamental. Para se conseguir uma boa escolha, o conhecimento dos materiais constituintes do suporte onde será efectuada a aplicação do produto é bastante importante. Não obstante, o próprio consolidante deve respeitar algumas características básicas (Villegas 2003):

- **Ter boa profundidade de penetração** – O produto deve penetrar adequadamente desde a superfície até ao interior do material, o máximo possível e em concentração suficiente. Desta forma a penetração do produto depende de vários factores: composição, viscosidade (tipo de dissolvente empregado), dimensão da molécula, tensão superficial e técnica de aplicação.
- **Não deve alterar a porosidade do revestimento original** – É em função do volume e dimensão dos poros que a água contida no interior da argamassa se movimenta. Se o consolidante produzir uma diminuição drástica desta porosidade haverá alterações no funcionamento e, logo, no comportamento do revestimento.
- **Deve ter boa capacidade de transferência de humidade** – O consolidante deve permitir a passagem de humidade do interior para o exterior do revestimento, ou seja, não deve reduzir a permeabilidade ao vapor de água, pois caso contrário haverá uma acumulação de água e sais nos locais tratados.

Os consolidantes dividem-se em dois grupos – orgânicos e inorgânicos –, sendo que os primeiros são à base de resinas acrílicas, vinílicas ou silicónicas e são incompatíveis com os suportes mais antigos. Por outro lado, os consolidantes inorgânicos, estes com maior compatibilidade físico-química com os revestimentos, encontram-se no grupo onde se insere a água de cal e o silicato de etilo, sendo que estes têm uma maior durabilidade e reversibilidade (Pascoal et al. 2015).

Na Tabela 2.1 resume-se as vantagens e desvantagens de ambos os grupos.

Tabela 2.1 – Vantagens e desvantagens dos consolidantes orgânicos e inorgânicos (Aguiar et al. 2001)

Vantagens dos consolidantes orgânicos	Vantagens dos consolidantes inorgânicos
Maior capacidade adesiva	Maior afinidade física e química com os materiais originais da parede
Maior flexibilidade	Boa capacidade de penetração devido ao baixo peso molecular
Reversibilidade superficial	Capacidade de não alterarem características hidrófilas dos materiais.
Facilidade de aplicação	Maior estabilidade química; Maior resistência aos raios UV
Desvantagens dos consolidantes orgânicos	Desvantagens dos consolidantes inorgânicos
Menor capacidade de penetração	Desadequação para o preenchimento e consolidação de juntas de separação superiores a 50-100 microns (dependendo do tipo de produto)
Instabilidade química, degradando-se em contacto com o oxigénio, ozono, com a luz do dia e raios UV e com soluções ácidas ou alcalinas	
Durabilidade desconhecida, mas presumivelmente inferior à dos materiais minerais	
Maior susceptibilidade ao ataque biológico	Aplicação mais complexa
Efeitos desconhecidos no comportamento geral do material	Irreversibilidade

2.4 Produtos de consolidação nano-estruturados

Desde que a nanotecnologia foi introduzida pelo Prémio Nobel Richard Feynman durante a sua famosa palestra “Há muito espaço no fundo” que tem havido muitos desenvolvimentos em física, química e biologia que demonstraram as ideias de Feynman em manipular a matéria a uma escala extremamente pequena, ao nível de moléculas e átomos, isto é, em nano-escala (Sanchez & Sobolev 2010). Enquanto o significado de nanotecnologia varia de campo para campo e de país para país e é amplamente utilizado como expressão para qualquer coisa de reduzidas dimensões, a nanotecnologia é comumente definida como a compreensão, o controlo e a reestruturação da matéria na ordem dos nanómetros (inferior a 100 nm) para criar materiais com propriedades e funções novas (NSTC 2007).

A nanotecnologia engloba duas abordagens principais: (i) a abordagem de “top to bottom”, isto é, em que as estruturas maiores são reduzidas em tamanho até à nano escala, mantendo as suas propriedades originais sem controlo de nível atómico ou desconstruída a partir de estruturas maiores até atingir estruturas menores; (ii) a abordagem “bottom to top” ou nanotecnologia molecular, introduzida por Drexler et al. (1991) em que os materiais são fabricados a partir de átomos ou componentes moleculares através de um processo de montagem ou auto-montagem (Figura 2.1) (Sanchez & Sobolev 2010).

Na conservação do património edificado, aquando da aplicação de partículas sólidas para consolidação, estas podem estar preferencialmente dispersas em soluções aquosas ou alcoólicas por diferentes razões. A solubilidade de um consolidante em água pode ser demasiado baixa para permitir a sua utilização eficaz. Em vários casos, quando as dispersões de partículas são utilizadas para tarefas de conservação, a eficácia da sua aplicação aumenta com a redução do tamanho das partículas. A diminuição destas partículas é importante na medida em que, com a diminuição do tamanho aumenta a sua superfície específica. Desta forma, aumenta a reactividade, pois uma maior superfície específica estará disponível para as reacções de transformação.

A redução do tamanho das partículas é também importante para facilitar a dispersão de partículas sólidas no solvente. As dispersões podem ser facilmente pinceladas, depositadas gota a gota ou nebulizadas, o que facilita a sua aplicação.

Outra grande vantagem do reduzido tamanho das partículas é a sua capacidade de penetração nas matrizes porosas de superfícies de argamassas (Giorgi et al. 2010).

A aplicação de dispersões de nano partículas para a consolidação de pedras e pinturas murais pode ser relativamente fácil desde que as propriedades fundamentais do substrato artístico sejam conhecidas, assim como as condições atmosféricas quando se der a aplicação *in-situ* (Baglioni et al. 2012).

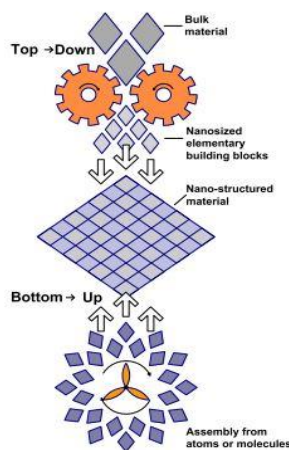


Figura 2.1 – Abordagem “top to bottom” ou “bottom to top” (Sanchez & Sobolev 2010)

2.4.1 Nano-cal

Diversos materiais foram já objecto de estudo com a finalidade de restituir a coesão superficial das argamassas como, por exemplo, a água e leite de cal, silicatos, fluoretos e barite, introduzidos no século XIX. Posteriormente foram introduzidos os polímeros, como as resinas acrílicas e epóxi, que eram mais fáceis de aplicar; contudo não respeitavam as regras da compatibilidade físico-química com o suporte. Mais recentemente, os consolidantes inorgânicos, nomeadamente o hidróxido de cálcio, hidróxido de bário, o silicato de etilo e o oxalato de cálcio, foram produtos preferenciais entre o seio dos Conservadores (Borsoi et al. 2012).

Devido à conversão da cal em carbonato de cálcio, a água e leite de cal eram usualmente adoptados para a consolidação de revestimentos antigos, sendo mesmo os consolidantes mais utilizados. Em particular a consolidação através de água de cal é geralmente obtida pulverizando a dispersão sobre a superfície limpa. Contudo estes consolidantes trazem consigo inúmeras limitações em termos de consolidação, nomeadamente: i) transformação incompleta do hidróxido de cálcio em carbonato de cálcio; ii) elevado numero de repetições do processo de consolidação de modo a que a superfície absorva a água de cal e haja uma boa penetração do produto; iii) reduzida solubilidade do hidróxido de cálcio em água, originando alterações cromáticas devido à deposição de partículas à superfície, que causam o efeito *bloom* (Sten 1981; Daniele et al. 2008).

De modo a melhorar o tratamento com cal, foram então introduzidas nano partículas de hidróxido de cálcio na conservação do património edificado. Estas partículas de tamanho reduzido são normalmente brancas e opacas e apresentam soluções estáveis. O facto de serem estáveis deve-se à repulsão electrostática entre as partículas de hidróxido de cálcio e o solvente alcoólico onde se encontram.

As partículas de nano-cal apresentam várias vantagens quando aplicadas em superfícies de pedra, argamassa ou mesmo na consolidação de gesso: i) possibilidade de penetrar profundamente em zonas danificadas (sem limitação de profundidade devido ao reduzido tamanho das partículas); ii) alta reactividade e reacções rápidas (por exemplo, de carbonatação) nas zonas tratadas, o que conduz a uma melhoria nas resistências mecânicas da superfície tratada num espaço temporal mais curto (Pianski et al. 2010; Slížková et al. 2010).

A concentração das partículas de hidróxido de cálcio variam de produto para produto, podendo ser de 5 a 50 g/L. Estas partículas apresentam uma forma hexagonal e um diâmetro médio de 150 nm e encontram-se dispersas em etanol, n-propanol ou iso-propanol. Posteriormente à evaporação do álcool, as nanopartículas de cal permanecem na rede porosa e reagem com o dióxido de carbono presente na atmosfera formando-se carbonato de cálcio, através de processo idêntico ao de uma cal aérea tradicional. As nanocalas apresentam uma maior eficácia como consolidante, dado que o iso-propanol tem um peso molecular substancialmente mais elevado que o etanol, não penetrando tão rapidamente. Quanto maior for a concentração da solução, mais difícil será a penetração do consolidante, sendo que as partículas depositar-se-ão na superfície formando as manchas brancas. Um consolidante que tenha a capacidade de se difundir uniformemente ao longo de um material terá maior capacidade de incremento nas resistências mecânicas (Hirst & D'Armada 2012; Pianski et al. 2010).

Existem vários produtos de suspensões de nano-cal no mercado e, dado a sua alta capacidade de penetração, podem ser aplicados em argamassas muito pouco porosas. Na Europa existem dois produtos mais utilizados, o NanoRestore® e o CaloSil®, que estão disponíveis em concentrações de 5 g/L até 50 g/L. O produto pode ser aplicado sem qualquer tipo de diluição ou diluído em água desmineralizada. A reduzida dimensão das partículas foi sintetizada em primeira instância pelo grupo CSGI liderado por Piero Baglioni, em Itália. Vários autores testaram as dispersões em amostras de argamassa que simulavam a perda de coesão (provetes com baixo teor em ligante). A aplicação resultou na recuperação da coesão das camadas pictóricas como os testes de abrasão e coesão demonstraram (Baglioni et al. 2012; Dei & Salvadori 2006).

Nesta dissertação, o NanoRestore® é um dos produtos que vai ser utilizado para a consolidação de provetes de argamassa que simulam perda de coesão. Este produto já foi testado em pintura mural por Natali et al. (2014) com excelentes resultados como fixador de pigmento e sem o aparecimento de manchas brancas na superfície de *graffiti*. Vários outros estudos em suportes de argamassa de cal aérea confirmam a capacidade do produto NanoRestore® ser mais do que um *filler* e ser mesmo um consolidante, não se limitando ao preenchimento dos poros, mas sim a penetrar na matriz da argamassa, diminuindo a absorção de água e aumentando significativamente as resistências mecânicas (Borsoi 2013; Borsoi & Silva 2013; Natali et al. 2014; Daehne & Herm 2013; Baglioni et al. 2012; Baglioni et al. 2014).

2.4.2 Nano-sílica

Produtos consolidantes à base de sílica, especificamente à base de Tetraortossilicato de etilo (TEOS), são usados em variadas ocasiões para a consolidação de argamassas e pedras, garantido uma redução da porosidade do material. Esteres de ácido silícico são o consolidante mais comum na consolidação de pedra; após a hidrólise destes produtos forma-se sílica amorfa, que consiste em redes desordenadas de sílica, que na presença da humidade actuam como consolidante (Borsoi 2013). Isto quer dizer que o gel de sílica amorfa, formado na reacção de desidratação ou condensação, é composto por ligações alternadas de silício e oxigénio. Os grupos alquila (C_2H_5) de cada molécula de silicato de etilo estão livres para se conjugarem com as cadeias de silício e oxigénio, formando uma estrutura porosa tridimensional com fortes ligações (Sandrolini et al. 2012).

Nesta dissertação vai utilizar-se uma solução aquosa de nano partículas de sílica, NanoEstel®, comercializada pela empresa italiana CSGI, com uma dimensão média de partículas de 10-20 nm (Borsoi 2013), relativamente mais pequena que a dimensão média das micro-emulsões acrílicas (40-50 nm) e que as partículas nano estruturadas de hidróxido de cálcio (150-250 nm).

Este produto é apresentado como um consolidante de rochas siliciosas, como um ligante de argamassas e também como um fixador de pigmentos em pó para pinturas murais. Este produto apresenta as suas características consolidantes após a evaporação da água, em que se dá a formação de sílica gel (reacção semelhante à do TEOS).

O produto pode ser utilizado quando a aplicação do silicato de etilo não é conveniente como, por exemplo, em situações com pouco tempo disponível (o tempo de reacção do NE é de 3-4 dias) ou na presença de alto teor de humidade, água livre ou superfícies húmidas (Zornoza-Indart & Lopez-Arce 2015).

Em estudos efectuados com nano partículas de hidróxido de cálcio, as condições ambientais, nomeadamente a humidade relativa e a temperatura, desempenham um papel significativo no processo de carbonatação e nas fases mineralógicas finais, e no condicionamento das propriedades físicas a curto e longo prazo (Gomez-Villalba et al. 2011). No entanto, para serem feitas considerações semelhantes em relação aos consolidantes à base de nano-partículas de sílica, é necessário que haja mais trabalhos de investigação, de modo a avaliar as variáveis necessárias e verificar a sua importância nas propriedades físicas finais e a sua eficácia nos diferentes tipos de materiais. Os produtos nano-estruturados de sílica foram aplicados na construção como um aditivo de argamassas de cimento, isto é, o produto foi aplicado em conjunto com o ligante e o agregado, e foram avaliadas as características físicas da argamassa endurecida e em estado fresco, sendo os resultados dissecados até à exaustão por vários autores. Contudo, no que à consolidação superficial diz respeito, a nano-sílica requer de um estudo mais aprofundado sobre a sua influência nas características gerais dos suportes (Zornoza-Indart & Lopez-Arce 2015).

Segundo Borsoi (2013) e Musacchi & Diaz Gonçalves (2014), para provetes de argamassa de cal aérea, a consolidação por nano-partículas de sílica diminui a absorção de água sob baixa pressão e por capilaridade. Relativamente às resistências mecânicas, a aplicação de nano-sílica obteve melhores resultados que a nano-cal nos testes de compressão e flexão. O ensaio de durómetro *Shore A*, que está directamente ligado à melhoria geral das resistências mecânicas, obteve resultados em termos de consolidação superficial bastante melhores que outros tipos de consolidante. O microscópio electrónico de varrimento (SEM) demonstrou também que a distribuição do consolidante é bastante uniforme pela superfície do provete; contudo obtém resultados menos satisfatórios em termos de capacidade de penetração relativamente nano-cal. A aplicação da nano-sílica é então recomendada para casos em que a perda de coesão seja bastante superficial.

Para argamassas de cimento Portland, a nano-sílica tem a capacidade de baixar substancialmente a capacidade de absorção de água por capilaridade e sob baixa pressão, principalmente em argamassas que apresentem maior estado de degradação, isto é, mais perda de coesão. Contudo, a permeabilidade ao vapor é maior comparativamente a outros consolidantes à base de sílica, nomeadamente o TEOS (San Andrés-Moya et al. 2013; Barberena-Fernandez et al. 2014; Hou et al. 2015). A menor capacidade de penetração da nano-sílica comparativamente ao TEOS, bloqueando apenas os poros com cerca de 0,1 µm, justifica a sua capacidade em diminuir a absorção de água. Contudo, comparativamente ao TEOS, o seu valor mais alto de permeabilidade é justificado com o facto de o TEOS diminuir tanto o volume do poro como o tamanho dos poros inferiores a 0,1 µm e a sua mais fácil penetração resultar num maior grau de redução da área por onde o fluido passará (Hou et al. 2015). As variações cromáticas induzidas pela aplicação de nano-sílica são invisíveis a olho nu, sendo que após a aplicação pode surgir um ligeiro brilho na superfície das argamassas tratadas (San Andrés-Moya et al. 2013; Barberena-Fernandez et al. 2014).

Apesar da investigação já realizada, a aplicação real destes novos produtos nano estruturados é ainda escassa, pois ainda permanecem por resolver aspectos chave para que possam ser aplicados *in-situ*.

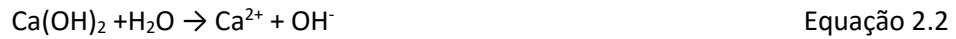
2.4.3 Nano-cal combinada com nano-sílica

A aplicação de consolidantes combinados foi já objecto de estudo por outras dissertações e artigos, abrangendo a combinação da nano-cal com o TEOS. Na presente dissertação vai ser formulada e aplicada uma combinação de nano-cal com um consolidante à base de sílica, o produto nano-estruturado NanoEstel®.

A conjugação destes dois consolidantes preenche os poros de maiores dimensões que a utilização isolada de cada um deles.

No entanto apresentará a desvantagem da absorção de água por capilaridade e sob baixa pressão serem reduzidas, uma vez que quando se forma a sílica-gel a água ser libertada, o que provoca a contracção do gel e forma estruturas abertas que permitem a difusão da água (Hirst & D'Armada 2012).

A formação de um gel adicional de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) promove uma melhoria adicional das resistências mecânicas comparativamente ao uso isolado de cada um dos produtos consolidantes (Barberena-Fernandez et al. 2014). A formação do gel C-S-H dá-se segundo as equações 2.1 a 2.3 (Singh et al. 2013):



3. MURAL “EVOCAÇÃO A FERNÃO MENDES PINTO”

3.1 Enquadramento

No presente capítulo apresenta-se sucintamente a caracterização histórica e artística do Mural “Evocação a Fernão Mendes Pinto”, assim como as suas características estruturais. São também expostas por meio de fotografias as anomalias presentes no mural e as suas propostas de intervenção.

3.2 Caracterização histórica e artística do Mural de Evocação a Fernão Mendes Pinto

O mural de Evocação a Fernão Mendes Pinto foi elaborado com o intuito de distinguir o aventureiro Português com o mesmo nome (1510-1583) e também como uma crítica aos valores morais da presença Portuguesa no Sudeste Asiático. A obra foi efectuada nos anos 80 (1982-1985) numa altura em que os murais pictóricos, onde se partilhavam ideais políticos, eram pintados um pouco por todo o país.

O projecto foi lançado em conjunto pela Câmara Municipal de Almada com a associação IMARGEM (Associação de Artistas Plásticos de Almada) e foi planeado e elaborado por Francisco Bronze e Jorge Pé-Curto. Esta obra juntou-se à celebração do quinto centenário da morte de Fernão Mendes Pinto e foi oferecida à cidade pela associação de artistas acima mencionada, como explicou o escultor Jorge Pé-Curto “Com a cooperação de todos, como artistas, a ideia é de intervir na cidade sem qualquer encargo”.

O mural está localizado na Rua Dom João de Castro, tendo exposição a Sul. Inclui uma paragem de autocarros embutida no seu centro, constituída por uma cobertura e muretes de suporte verticais. Esses muretes apresentam uma forma ondulada, projectando a ideia de movimento. A ondulação dos elementos verticais da paragem foi obtida através da utilização de betão leve autoclavado da marca YTONG e para dar relevo nas restantes zonas foi utilizada argamassa com um agregado de tamanho superior comparativamente ao agregado utilizado na argamassa decorativa (Simas et al. 2015).

A estrutura da paragem foi mais tarde substituída por uma paragem convencional, que ainda hoje em dia se encontra à frente e à esquerda da obra (Figura 3.2)



Figura 3.1 - Mural 1985 (CMA 1985)



Figura 3.2 - Mural 2015

O mural foi pintado com uma paleta mínima de cores, apresentando uma grande variedade de sombras produzidas por pigmentação amarela, vermelha, preta e branca. Segundo o artista, os pigmentos foram aplicados de duas diferentes formas:

- Misturados directamente na argamassa de cimento;
- Aplicados superficialmente numa argamassa cimentícia colorida pela técnica de *fresco*.

Por último, a expressividade do mural foi enaltecida criando figuras na argamassa de cimento ainda fresca, quer por esquartelamento desta, quer por inclusão de argamassa em maior espessura, criando uma ideia de figuras em relevo.

Segundo o Autor, o Mural encontra-se dividido em três fracções: a central, com uma profusão de cores e figuras mais fortes onde é apresentada uma sátira à cultura Portuguesa e uma representação de Fernão Mendes Pinto, e duas laterais, mais baixas, criadas posteriormente à fracção central e decoradas maioritariamente com figuras marítimas em metáfora à diáspora Portuguesa no séc. XV/XVI (Simas et al. 2015).

3.3 Caracterização estrutural

O mural tem 100 m de comprimento, 3,75 m de altura máxima, 1,32 m de altura mínima na fracção direita e 1,43 m na fracção esquerda; tem 0,28 m de espessura ao longo de todo o seu desenvolvimento. Ao longo do seu alinhamento é constituído por 97,7 m em betão armado e 2,3 m em alvenaria de tijolo furado. A estrutura do mural constitui um muro de suporte de terras no seu tardo. Na Figura 3.5, Figura 3.6 e Figura 3.7, apresentam-se esquematicamente os cortes A, B e C realizados ao longo do mural. Na fachada frontal foi aplicada uma argamassa cimentícia (cimento e areia) com cerca de 5-10 mm de espessura. Posteriormente a esta camada foi aplicada uma aguada de cimento utilizada para dar suporte e aderência à camada de argamassa decorativa, apresentando uma espessura entre 1,5 a 4 mm. Esta última camada foi aplicada segundo a técnica de *giornata*: de manhã os trabalhadores aplicavam a argamassa e na tarde do mesmo dia o artista desenhava em fresco com um ferro e posteriormente adicionava o pigmento com fixador (cimento Portland branco) (Simas et al. 2015).



Figura 3.3 – Terreno ajardinado a tardo do mural



Figura 3.4 – Representação da fachada do mural (Lourenço n.d)

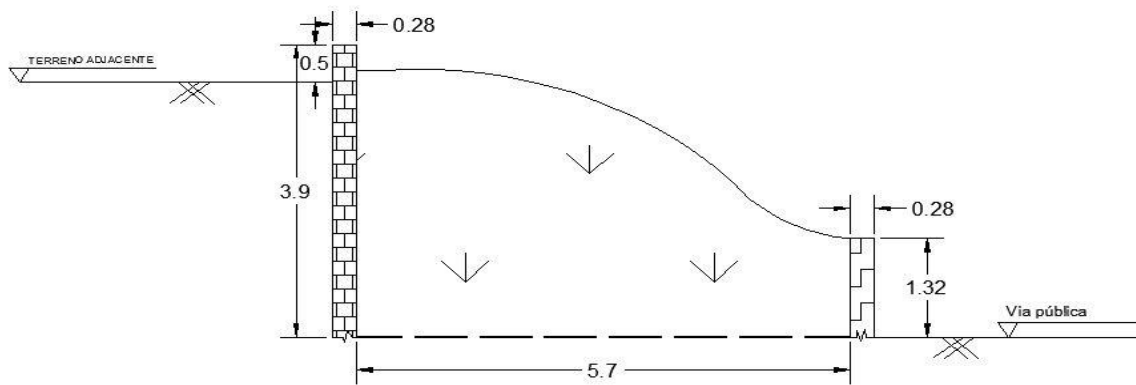


Figura 3.5 – Corte A

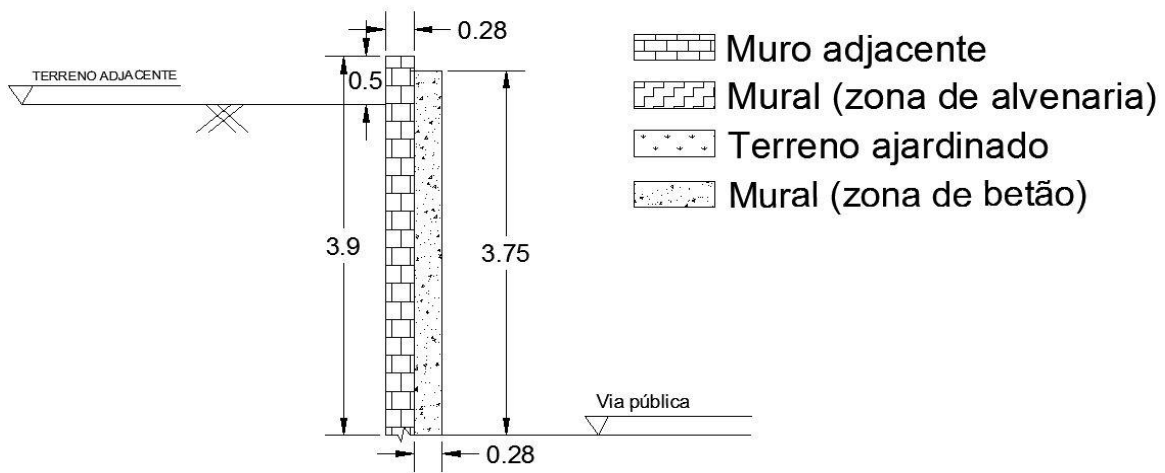


Figura 3.6 – Corte B

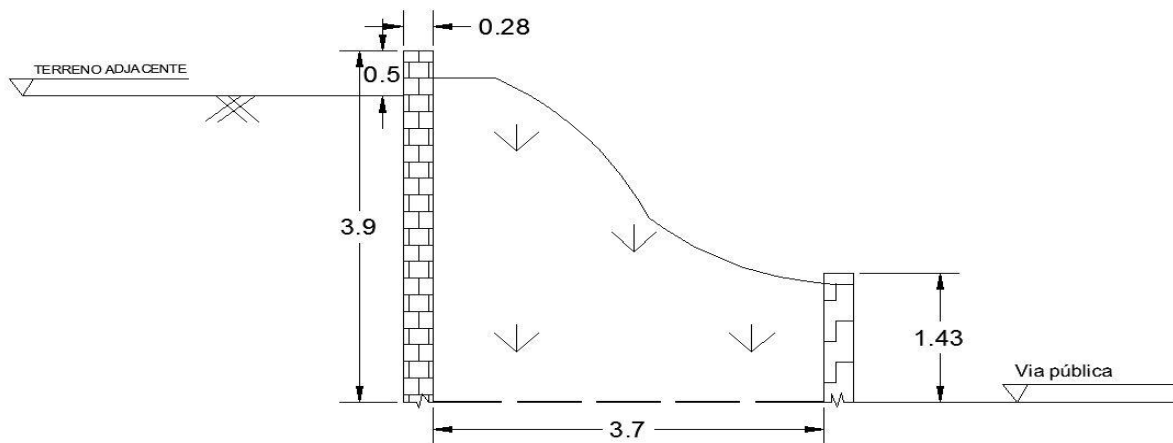


Figura 3.7 – Corte C

3.4 Caracterização artística e do revestimento

Durante a elaboração do mural foram utilizadas várias técnicas de modo a serem dadas várias *nuances* à obra, desde a utilização de diferentes técnicas de pintura à utilização de argamassas em relevo. Relativamente à técnica de pintura, a mesma era aplicada sobre a argamassa ainda fresca, utilizando diferentes concentrações de pigmento para dar um maior ênfase à cor. Estudos anteriores (Simas et al. 2015) demonstraram que a utilização da técnica de fresco com a concentração dada pelo artista (Figura 3.8a) não era suficiente para cobrir toda a argamassa mesmo com várias aplicações (três). Procedeu-se então ao aumento da concentração do pigmento. A mistura directa dos pigmentos com a argamassa cimentícia foi, também, testada por Simas (2015) e como esperado, a quantidade necessária de pigmento foi consideravelmente maior (quatro vezes) (Figura 3.8b) do que na técnica anterior. Contudo, devido à melhor ligação entre o pigmento e o cimento, foi francamente mais fácil a coloração do mural. Jorge Pé-Curto mencionou também a utilização de cimento branco e apesar de com este cimento ser mais fácil obter cores saturadas (a saturação da argamassa com pigmento), após a secagem, as coordenadas colorimétricas eram ligeiramente diferentes das apresentadas no mural. No entanto, esta diferença pode também justificar-se pela lixiviação por exposição natural e, eventualmente devido a sais, ficando os ocre mais claros devido à formação de uma camada esbranquiçada de sulfato e carbonato de cálcio sobre a superfície. Descartou-se a descoloração ao longo do tempo devida a radiação solar pois os ocre não decaem por foto degradação.

Os pigmentos utilizados na pintura do mural foram: carbonato de cálcio (CaCO_3) que terá sido utilizado como pigmento branco (pó de pedra branco); magnetite (preto); hematite (vermelho); goethite (amarelo). No mural existem também zonas sem cor, isto é, que apresentam a cor natural da argamassa. A cor branca era obtida através da utilização de argamassas de cimento branco (Simas et al. 2015).

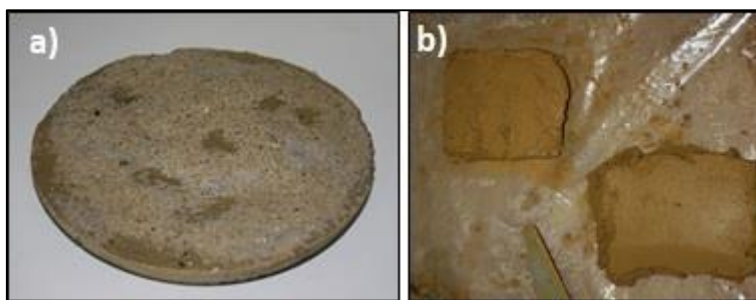


Figura 3.8 – a) Provete de argamassa (Simas et al. 2015); b) Provete de argamassa saturado com pigmento (Simas et al. 2015)

3.5 Estado de conservação do mural

Previamente a qualquer acção de conservação deverá ser sempre efectuado um levantamento completo e exaustivo de todas as anomalias existentes, sem preocupação em identificar todas as possíveis causas (Henriques 1991). O levantamento das anomalias deverá ser posteriormente traduzido em relatório, em linguagem simples e directa e recorrendo ao auxílio de esquemas e fotografias. Em construções de dimensão relativamente pequena, a tarefa de efectuar o levantamento deve ser realizada apenas por uma pessoa para permitir que os critérios sejam sempre idênticos. É crucial que a pessoa em questão tenha experiência no campo e inicie o trabalho sem ideias pré-concebidas (Feilden 1982). Em construções de grande dimensão, terá de haver uma pessoa que coordene e dê formação aos restantes elementos, para uniformização de critérios.

Este sub-capítulo tem como objectivo elaborar o levantamento das anomalias presentes no mural, sendo assim possível ter uma ideia do estado de conservação do objecto de estudo.

Anomalias e propostas de intervenção

Nesta secção irá ser retractada a inspecção visual feita ao mural por meio de figuras e explicações mais específicas para cada caso.

3.5.1 Perda de aderência

A perda de aderência caracteriza-se pela separação de uma ou mais camadas do reboco do seu suporte (Aguar et al. 2001). Esta separação pode surgir em várias fases, nomeadamente na forma de descolamento, empolamento, desprendimento e lacuna (Figura 3.9). Esta patologia pode derivar de uma série de anomalias tais como corrosão das armaduras, fissuração, impacto, presença de sais higroscópicos e humidade. Por exemplo a expansibilidade do hidróxido férrico das armaduras conduz à abertura de fendas que progridem ao longo do suporte tendo como consequência a entrada de água, o aumento da corrosão, o alargamento das fendas e o destacamento de camadas superficiais, com o surgimento de lacunas. A presença de sais higroscópicos, com a variação da humidade, promove ciclos de cristalização-dissolução, conduzindo a tensões também cíclicas que provocam a perda de coesão do material e a perda de aderência.

O terreno no tardo do mural provoca tensões de carregamento sobre a alvenaria presente na fracção esquerda e direita do mural. Essas tensões, muito provavelmente associadas ao impulso e acção da água do terreno, produziram movimentos diferenciais (Figura 3.9b), levando também ao empolamento e falta de aderência da argamassa de revestimento.



Figura 3.9 – a) Desprendimento; b) Movimento diferencial do suporte

— Proposta de intervenção

A perda de aderência de argamassas é uma anomalia bastante recorrente em rebocos. Quando esses rebocos têm valor artístico ou cultural, esta anomalia é usualmente mitigada com a aplicação de caldas ou *grouts* (idealmente com base no mesmo ligante das argamassas – neste caso cimentícios) que permitem o preenchimento do vazio entre o suporte e o reboco, repondo a aderência entre superfícies. Por definição, um *grout* é uma pasta utilizada no preenchimento, homogeneização, consolidação e melhoria das propriedades mecânicas de sistemas que apresentam cavidades, vazios e fendas (Toumbakari et al. 1999). A técnica consiste na introdução de um *grout* na área vazia do destacamento que ocorreu entre o revestimento e o suporte ou entre camadas do revestimento.

3.5.2 Perda de coesão

A perda de coesão é a perda de resistência mecânica de camadas ou superfícies de camadas de reboco, devido à perda ou redução de ligação entre partículas (Aguar et al. 2001).

A perda de coesão manifesta-se maioritariamente por fenómenos de: pulverização, arenização, erosão, presença de humidade, acções de microorganismos, presença de humidade, entre outras (Henriques 2004; Magalhães 2002; Tavares 2009).

A presença da estrada nacional N377-1, assim como o IP7 e a ponte 25 de Abril (Figura 3.10), conduz a que exista uma quantidade de agentes poluentes nas imediações do mural bastante elevada.

Esses agentes poluentes, quando em contacto com os constituintes da argamassa podem gerar reacções químicas que transformam esteticamente a camada pictórica e, em última instância, provocam perda de material, dado que a reacção entre os agentes poluentes e os principais constituintes da argamassa encaminham a uma formação de novos materiais mais fracos.



Figura 3.10 – a) Foto aérea da localização do mural; b) Estrada N377-1

Dado o facto de o mural se encontrar bastante próximo da foz do rio Tejo a probabilidade da presença de sais (nomeadamente de cloretos) é bastante elevada. A presença do terreno no tardo do mural também pode conduzir a uma contaminação por nitritos e nitratos, sendo que estes sais se depositam com maior ênfase no topo do mural. Agentes poluentes, variação da temperatura e humidade relativa, assim como a capacidade de absorção de água por parte da argamassa, levam à formação de eflorescências que, posteriormente, levam à perda de coesão e consequente degradação pictórica (Figura 3.11). Como os ocre não decaem por foto degradação, as causas prováveis para o desgaste aparente das mais variadas cores presentes no mural são as anomalias descritas acima.

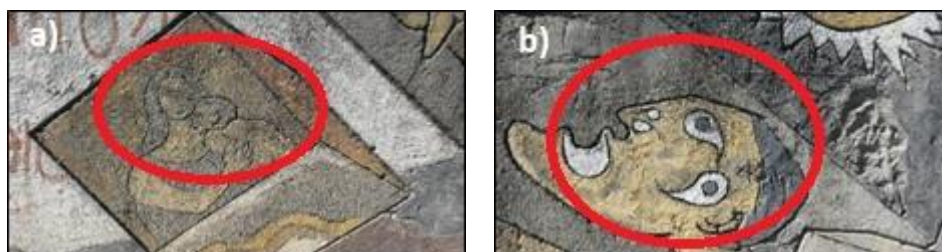


Figura 3.11 – a) b) Perda de coesão do pigmento do mural 2015 (sinalizado a vermelho)

A Figura 3.12 representa a localização onde o mural apresenta boa consolidação superficial. A avaliação desta boa coesão foi efectuada através do ensaio de coesão superficial, semelhante ao utilizado em laboratório. A boa consolidação está apenas presente na zona central do mural, que corresponde à zona de betão armado. As fracções laterais são onde se apresenta uma maior perda de coesão, precisamente onde se encontram os terrenos ajardinados no seu tardo. Esta falta de coesão está directamente ligada à anomalia de humidade do terreno, explicada no sub-capítulo seguinte.

— Proposta de intervenção

A proposta de intervenção para a anomalia apresentada é o tema abordado na dissertação. A perda de coesão é a principal anomalia apresentada no mural e a sua mitigação será realizada através da aplicação de produtos consolidantes.



Figura 3.12 – Localização da boa coesão no mural (Lourenço n.d)

3.5.3 Humidade

— Humidade do terreno

De modo a que a intervenção proposta para esta anomalia seja mais apropriada, em primeira instância é necessário compreender a origem da água presente. A água pode ser proveniente de três situações características (Henriques 1994): fundações abaixo do nível freático; fundações acima do nível freático; paredes implantadas em terrenos pouco permeáveis ou com pendentes viradas para as paredes, dando origem a que águas provenientes da pluviosidade ou de outras origens, como por exemplo regas, possam deslizar e ir ao encontro da parede.

No caso do mural a terceira situação ocorre de certeza. O terreno ajardinado presente no desenvolvimento do mural tem uma pendente que vai ao encontro do seu tardo. A água proveniente do terreno traz consigo inúmeros sais dissolvidos que se alojam na estrutura porosa da argamassa. Através da variação da humidade relativa dão-se vários dos fenómenos já descritos antes, que conduzem a situações patológicas. A presença de caleiras de drenagem de águas no tardo do mural (Figura 3.13, na zona de betão) indica também uma constante presença de água. Estas caleiras ao longo do seu percurso podem apresentar fendas que permitem a infiltração da água recolhida e o seu acesso ao mural, acelerando as várias anomalias já antes referidas, como destacamentos, perda de coesão e proliferação de agentes biológicos.



Figura 3.13 – Tubagem

— Proposta de intervenção

A proposta de intervenção sugerida será a realização de uma verificação do funcionamento da caleira existente no tardo do mural, com a sua desobstrução, eventual impermeabilização e verificação de escoamento.

Na zona ajardinada, no tardo das partes do mural com estrutura de alvenaria, então poderá escavar-se até o mais abaixo possível, garantindo a estabilidade dos muros e, se esses muros não se encontrarem convenientemente impermeabilizados, deverá efectuar-se um sistema completo de impermeabilização dos muros, a sua protecção pela aplicação de membranas alveolares (drenantes) com geotêxtil, a desaguar para tubo geodreno inserido em vala de brita grossa, por sua vez com pendente e a desaguar para os sistema de drenagem de águas pluviais. A parte superior da vala de brita grossa, depois de ter um geotêxtil no seu topo, poderá então ser preenchida por terra para reposição do jardim.

— Humidade de precipitação e fissuração/fendas

Sendo que o mural é uma obra sujeita a todo o tipo de agentes climatéricos, a humidade de precipitação é uma realidade, dado que a água da chuva associada à componente vento provoca que as gotas de água adquiram energia cinética e provoque a penetração directa pelas fissuras presentes.

É possível então afirmar que esta anomalia está directamente ligada à fissuração pelo que ambas serão tratadas no presente sub-capítulo.

As fissuras presentes no mural surgiram devido às tensões exercidas pelo terreno a tardo e pela inexistência de juntas de dilatação (Figura 3.15). Através destas fissuras as águas pluviais infiltram-se de forma directa no interior da argamassa e, com o acréscimo do teor em água no seu interior, originam-se anomalias imputáveis a este facto. A Figura 3.14 indica a localização das fissuras mais extensas e de maior largura no mural. De um modo geral, as fissuras de maior dimensão estão presentes na zona onde existe terreno, dado que as tensões exercidas levam a movimentos diferenciais que provocam aberturas na zona de alvenaria.



Figura 3.14 – Localização das fissuras no mural (Lourenço n.d)



Figura 3.15 – Exemplo de fissuras presentes no mural (Fracção esquerda – zona de betão)

Na parte superior da estrutura de betão leve que forma a paragem, a ausência de pingadeiras e o entupimento de caleiras, conduzem a que a água proveniente da pluviosidade percorra caminhos preferenciais. Na Figura 3.16a é possível verificar a existência de uma quantidade significativa de vegetação a entupir a caleira devido à falta de manutenção. A inexistência de uma adequada pendente na zona superior da paragem, conduz também a uma acumulação de água que conjuntamente com a vegetação que entope a caleira, leva ao acentuado estado de degradação daquela zona. Como consequência destes factores, a água assume caminhos preferenciais e causa o desgaste da camada pictórica, tal como é visível na Figura 3.16b e Figura 3.16c representada por uma zona mais escurecida. A Figura 3.17 representa as zonas onde as escorrências têm maior incidência.

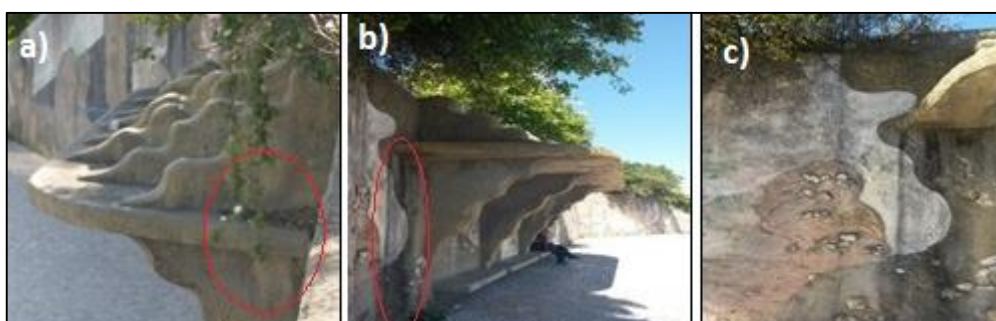


Figura 3.16 – a) Entupimento da caleira com vegetação; b) c) Escorrências



Figura 3.17 – Localização das escorrências presentes no mural (Lourenço n.d)

— Proposta de intervenção

A intervenção de modo a colmatar a anomalia de fissuração consiste na aplicação de *grouts*. Desta forma a água proveniente da pluviosidade não entraria de forma directa no interior no mural. Contudo, o processo de execução da reparação desta anomalia requer alguns processos destrutivos, quer para fissuras com largura inferior a 0,2 mm como com largura superior. Assim, dada a natureza da obra, torna-se difícil a aplicação destes métodos de forma efectiva. Por outro lado, a aplicação do consolidante poderá conferir alguma impermeabilidade à superfície, o que corrigirá em pequenos pontos, esta deficiência do mural. A intervenção para a mitigação da anomalia a zona da pala da paragem, que contém uma grande quantidade de vegetação, passa por executar um plano de manutenção que garanta a limpeza da caleira. A execução de pingadeiras correctamente dimensionadas assim como uma pendente adequada para o encaminhamento da água para a caleira é também necessária.

3.5.4 Ataque biológico

O glossário ilustrado sobre as formas de deterioração de pedra do ICOMOS-ISC define colonização biológica como: “Colonização da pedra por plantas e microorganismos, tais como bactérias, cianobactérias, algas e fungos. Colonização biológica inclui também a influência de outros organismos como nidificação de animais dentro e fora do seu interior” (ICOMOS-ISC 2008).

Os rebocos são um meio propício à proliferação de diversos seres vivos. Os mais simples são responsáveis por deteriorações químicas e/ou mecânicas. A proliferação destes organismos depende de determinados factores como: o pH, humidade, temperatura, oxigénio e iluminação (Tavares 2009).

Pela análise da Figura 3.18 é visível que grande parte do mural é afectado pela presença de microorganismos, seja com forte ou fraca presença. A acumulação destes seres vivos na superfície do mural causa uma deterioração da camada pictórica através de deposição à superfície ou através das substâncias que expelem. A sua acumulação na superfície leva a que haja uma conservação da humidade na superfície dado que estes microorganismos obturam os poros, o que também conduz a uma destruição do reboco. A reacção química entre estes compostos e os materiais do reboco tem como resultado uma transformação molecular do material e, consequentemente, a variação do aspecto do reboco (Figura 3.19).



Figura 3.18 – Localização e escala de presença de microorganismos vegetais ou animais (Lourenço n.d)



Figura 3.19 – Microorganismos presentes no mural (fracção esquerda – zona betão)

— Proposta de intervenção

A proposta de intervenção para a presente anomalia passa pelo tratamento dos paramentos afectados. Deverá ser efectuada uma limpeza mecânica pontual com bisturi, escovagem generalizada, aplicação de biocidas e algicidas, lavagem por aspersão prolongada, escovagem com escovas macias. A utilização de hipoclorito de sódio torna-se inviável na medida em que este produto, mesmo a baixas concentrações, causa o embranquecimento do mural.

3.5.5 Erosão

A erosão compreende, de uma forma geral, a destruição ou o desgaste do reboco, implicando a perda de material ou apenas alteração da superfície (Magalhães 2002)

Esta é uma anomalia directamente ligada a todas as outras pelo que a sua mitigação passa pela aplicação das propostas de intervenção nas anomalias anteriores.

3.5.6 Sujidade/Poluição

A sujidade é uma anomalia muito comum em zonas urbanas e é caracterizada pelo recobrimento do revestimento com poeiras, fuligem, zonas de escorrência e outras partículas existentes em suspensão no ar. Contudo o mural é amplamente afectado ainda por uma outra forma de sujidade: o vandalismo por *graffiti* (Figura 3.20). A mitigação desta anomalia no mural será objecto de estudo específico por parte do Departamento de Conservação e Restauro da FCT NOVA, pelo que não será objecto desta dissertação.



Figura 3.20 – Localização das zonas com *bombing* no mural (Lourenço n.d)

4. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 Enquadramento

Com base no levantamento das anomalias detectadas no mural, foi decidido que na parte experimental desta dissertação procurar-se-ia contribuir para ampliar o conhecimento para uma eficiente intervenção de consolidação superficial do mural. Para tal programou-se a realização de provetes que simulassem as superfícies do mural, realizadas com argamassas de cimento Portland e de cimento branco, sem ou com pintura. Procurou-se validar esses provetes por comparação com as características levantadas *in-situ*, no mural. Procedeu-se à escolha e aplicação de consolidantes nos provetes, sem ou com pigmentos, e à avaliação do seu comportamento, no sentido de aferir qual o mais eficiente.

Neste primeiro capítulo relativo ao desenvolvimento experimental são descritos os materiais utilizados para a produção e pigmentação dos provetes realizados e para a consolidação efectuada. São descritos os procedimentos de ensaio adoptados, assim como as normas e outros documentos utilizados como base. As condições de cura, identificação dos provetes e descrição e apresentação dos resultados dos ensaios das argamassas em estado fresco são também apresentados. É descrita também a campanha experimental realizada *in-situ*, no próprio mural, ou sobre amostras do mural, que teve como objectivo a validação dos provetes produzidos em laboratório.

A realização das argamassas, a produção dos provetes e os ensaios foram realizados nos laboratórios do Departamento de Engenharia Civil da FCT NOVA (DEC/FCT NOVA), excepto quando assinalado.

4.2 Materiais utilizados e sua caracterização

4.2.1 Cimentos das argamassas dos provetes

Segundo Jorge Pé-Curto, um dos artistas do mural, foram utilizados na concepção da obra dois tipos de cimento: cimento Portland cinzento, que confere a cor cinzenta ao mural e também utilizado com um agregado maior para as zonas salientes, denominadas “nuvens”, e o cimento Portland branco que foi utilizado nas zonas onde iria ser disposta pigmentação. De acordo com a Portland Cement Association (PCA), a diferença na cor dos dois cimentos decorre das suas distintas matérias-primas. O cimento cinzento é mais rico em ferro, manganês, crómio e magnésio, e na produção do cimento estes minérios formam os clínqueres, enquanto o cimento branco para adquirir a sua cor tem de ter na sua matéria-prima uma maior quantidade de pedra calcária ou outros minérios com baixo teor dos óxidos acima citados. Nas argamassas com cimento branco os agregados não conferem cor, como por exemplo, a areia britada de mármore. Os cimentos Portland utilizados na produção dos provetes foram produzidos pela SECIL sendo um cimento classificado como CEM II B/L 32,5N (Figura 4.1) (Anexo I – Ficha técnica cimento CEM II B/L 32,5N). O cimento Portland dada a sua hidraulicidade deve ser armazenado num local seco e com um menor contacto possível com a humidade. Ambos os sacos, de cimento branco e cinzento, mantiveram-se apenas abertos o tempo necessário para a sua utilização.



Figura 4.1 – a) cimento Portland cinzento b) cimento Portland branco

4.2.2 Areia

Foi utilizada areia do mesmo tipo e proveniência da utilizada na produção artística do mural – areia de rio. Foi elaborado o estudo da sua granulometria, dado que o agregado tem influência directa nas resistências e trabalhabilidade da argamassa (Faria et al. 2007). O ensaio foi realizado segundo a norma NP EN 933-1:2000 (IPQ 2000) e a curva granulométrica do agregado - fazendo um acumulado da massa retida em cada peneiro, numa percentagem de massa do material acumulado passado em função do peneiro – é apresentada na Figura 4.2.

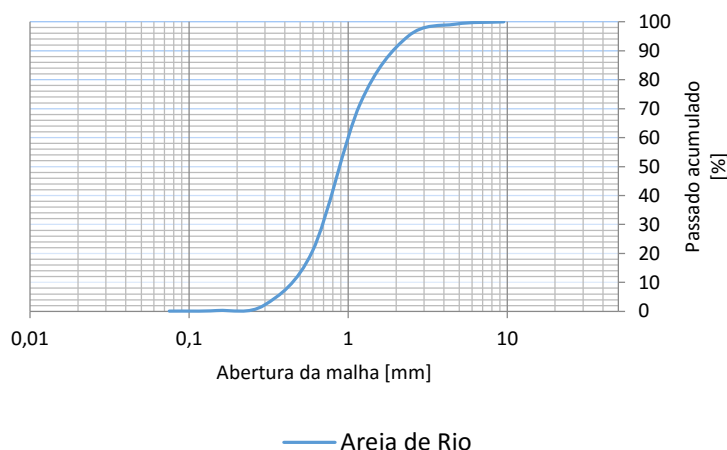


Figura 4.2 – Curva granulométrica da areia de rio utilizada nas argamassas

4.2.3 Água

A água utilizada na preparação das argamassas proveio da rede pública dos SMAS Almada. A quantidade de água introduzida no processo de amassadura terá uma influência directa nas características físicas e na trabalhabilidade da argamassa produzida, e como tal, a quantidade da mesma foi ponderada de modo a otimizar o comportamento em estado fresco e que, ao mesmo tempo, não compromettesse o estado endurecido.

4.2.4 Baridade

A determinação da baridade dos materiais utilizados nas argamassas efectuou-se com base na norma NP EN 1097-3:2002 (IPQ 2002) e de acordo com a ficha de ensaio Fe 15 (UNL/DEC 1996). Este ensaio baseia-se na determinação da massa do material seco que preenche um recipiente de volume conhecido. A baridade é necessária para transformar o traço volumétrico da argamassa em traço em massa, rigoroso.

Inicialmente, determina-se a massa M_r do recipiente utilizado para a determinação da baridade. O volume V_r do recipiente é conhecido previamente ($0,749 \text{ dm}^3$). Posteriormente, retira-se o material do condicionamento seco onde se encontra e coloca-se num funil, com a sua base obturada e com um tabuleiro metálico na mesa de ensaio de modo a evitar perdas de material. O recipiente cilíndrico é colocado sob o funil que se encontra suspenso através de um aro metálico. O funil e o recipiente cilíndrico encontram-se a uma distância de 50mm. Com o funil cheio, abre-se a base e o material cai por gravidade para o recipiente cilíndrico. O material que se encontra dentro do recipiente cilíndrico é nivelado com uma régua metálica com as devidas precauções de modo a que não haja compactação. Afere-se a massa, numa balança de precisão 0,1 g, do recipiente cilíndrico preenchido com o material, conhecendo assim o valor de M_{tr} . O valor da baridade é então calculado de acordo com a Equação 4.1:

$$Bar = \frac{M_{tr} - M_{rv}}{V_r} \quad \text{Equação 4.1}$$

em que: **Bar** – baridade do material [kg/dm^3]; **M_{tr}** – massa total do recipiente cilíndrico [kg]; **M_v** – massa do recipiente vazio [kg]; **V_r** – volume do recipiente [dm^3].

O ensaio foi realizado com três amostras de para cada material. Na Tabela 4.1 apresentam-se os resultados obtidos.

Tabela 4.1 – Baridade dos materiais utilizados para produção das argamassas

Material	Baridade [kg/dm^3]
Areia de Rio	1,484
Cimento Portland cinzento	0,948
Cimento Portland branco	0,951

Como expectável, verifica-se que a areia apresenta a maior baridade, apresentando os dois cimentos valores muito aproximados.

4.2.5 Pigmentos para os provetes

Dos vários pigmentos utilizados por Simas (2015), nesta dissertação optou-se por utilizar os pigmentos OA e VB pois são, para além da cor branca do cimento branco, as cores e os pigmentos com maior utilização no mural. Ambos os pigmentos são essencialmente constituídos por minerais de ferro. O Ocre Alvalade (Figura 4.3a) apenas por goethite (FeO.OH), mineral que lhe concede a cor amarela, enquanto o Vermelho Bayer (Figura 4.3b) é constituído por hematite, um óxido de ferro anidro (Fe_2O_3), que lhe concede a cor vermelha (Pascoal et al. 2014).

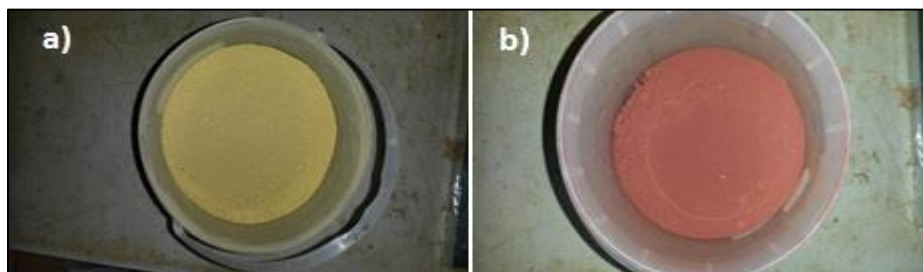


Figura 4.3 – a) Ocre Alvalade; b) Vermelho Bayer

4.2.6 Consolidantes a aplicar nos provetes

Os produtos nano-estruturados de hidróxido de cálcio e sílica têm sido cada vez mais utilizados para a conservação de obras de pedra e suportes à base de cal. Vários foram os estudos efectuados para os consolidantes à base de nano-cal (Borsoi & Silva, 2013; Borsoi et al., 2013; Borsoi et al., 2012) e também para nano-sílica (Barberena-Fernandez et al. 2014; Musacchi & Diaz Gonçalves 2014; Borsoi 2013). Contudo, estes estudos centraram-se na compatibilidade e variações de comportamento em suportes à base de cal e pedras porosas. Na presente dissertação, o estudo centra-se no comportamento destes consolidantes em suportes à base de argamassas hidráulicas de cimento Portland, tanto a nível de melhoria de consolidação superficial, permeabilidade à água como variação das coordenadas colorimétricas que estes consolidantes possam induzir.

A escolha de produtos para consolidação recaiu no NanoEstel® e no NanoRestore®, na sequência da leitura efectuada para o estado do conhecimento desta dissertação sobre o tipo de consolidantes a utilizar em obras de arte contemporâneas, nomeadamente com base em argamassas e betões de cimento Portland. Ambos os produtos derivam de outros dois amplamente conhecidos e estudados – água de cal e tetraortossilicato de etilo (TEOS).

Estes dois produtos são considerados bastante compatíveis com todo o tipo de materiais e, apesar de algumas desvantagens, como o efeito *bloom* (efeito esbranquiçado) e a pouca capacidade de penetração da água de cal, ou o brilho superficial e a impermeabilidade à água que o TEOS induz (Borsoi 2013; Musacchi & Diaz Gonçalves 2014; Baglioni et al. 2012; Barberena-Fernandez et al. 2014; San Andrés-Moya et al. 2013)

Estes produtos consolidantes são considerados nano-estruturados, isto é, o tamanho das partículas varia entre 10-20 nm a 150 a 250 nm para o caso do NanoEstel® e NanoRestore® respectivamente. Entre eles varia também o componente activo, o resíduo seco e o solvente no qual a solução vem diluída.

O NanoEstel® é um produto à base de silicato de etilo comercializado pela empresa C.T.S. A solução é aquosa e translúcida e vem pronta a utilizar. Apresenta uma dimensão de partículas entre 10 a 20 nm, sendo bastante inferior às emulsões acrílicas (40-50 nm) e à solução de nano-cal (200 nm). O resíduo seco do produto ronda os 30% e um pH alcalino de 9,8 a 10,4. Após a sua aplicação e a evaporação da água terminar, as partículas ligam-se entre si formando sílica-gel, processo similar ao do TEOS, conseguindo-se assim o efeito consolidante (Anexo I – Ficha técnica NanoEstel)

O tempo de reacção do NanoEstel® é bastante célere, 3 a 4 dias, comparativamente a outros produtos no mercado, podendo também ser aplicado em ambientes húmidos, o que aumenta bastante o seu potencial de aplicabilidade em obras de maior escala.

O NanoRestore® é um produto consolidante à base de cal diluída numa solução alcoólica isopropílica, de cor branca. As suas partículas variam entre os 200 e os 250 nm e segundo a sua ficha técnica (Anexo I – Ficha técnica NanoRestore) apresenta um resíduo seco de 5 g/l, substancialmente inferior a outros produtos no mercado, o que influencia a sua capacidade de penetração nos poros das argamassas. O facto de este produto se encontrar diluído numa solução alcoólica aumenta também a sua capacidade de penetração, pois o álcool tem uma baixa tensão superficial.

4.3 Organização e descrição da campanha experimental

A campanha experimental foi dividida em fases distintas:

1. produção dos provetes;
2. aplicação dos consolidantes nos provetes não pigmentados;
3. ensaios dos provetes não pigmentados, ensaios no mural e validação dos provetes
4. aplicação do consolidante nos provetes pigmentados;
5. ensaios dos provetes pigmentados.

4.3.1 Primeira fase experimental – Produção dos provetes

Nesta primeira fase da campanha experimental foram realizados argamassas e moldados 24 provetes, 12 provetes de cimento branco e 12 provetes de cimento cinzento. Pretendeu-se que os provetes simulassem perda de coesão e para tal a argamassa foi realizada com o traço volumétrico de 1:6, em volume. De modo a que os provetes fossem o mais semelhante possível com o mural utilizou-se como agregado areia de rio da mesma proveniência da que foi utilizada na realização das argamassas do mural.

Para a caracterização das argamassas dos provetes, efectuaram-se três ensaios à argamassa fresca: determinação de consistência por espalhamento, teor em ar e massa volúmica.

As argamassas foram então colocadas em moldes de madeira, por sua vez colocados em cura durante 90 dias na sala condicionada a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ HR - tempo considerado suficiente para a argamassa curar.

Os provetes de cimento branco, realizados com a finalidade de serem pigmentados a fresco, foram assim realizados cerca de 90 dias após a realização dos provetes de cimento cinzento, isto é, quando os primeiros foram desmoldados, com o intuito de ambos serem colocados em exposição natural em simultâneo.

Estes últimos provetes foram pigmentados 24h depois de moldados, 6 com o pigmento Ocre Alvalade e os restantes 6 com o pigmento Vermelho Bayer.

Os provetes de cimento branco foram colocados em cura durante 7 dias a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ HR. Esta decisão foi tomada por duas razões: o cimento de classe CEM II B/L 32,5N obtém 50% das suas resistências à compressão aos 7 dias (16MPa); no mural o cimento não teve condições ideais de cura ficando ainda sobre a acção da força da gravidade.

Após os 90 dias de cura para o caso dos provetes não pigmentados e 7 dias para os provetes pigmentados, todos os provetes foram colocados na cobertura do Departamento de Engenharia Civil da UNL expostos à orientação sul (orientação do mural), encostados a uma parede (Figura 4.4), de modo a que houvesse um envelhecimento natural. Estes provetes ficaram expostos às variadas condições atmosféricas durante 28 dias, sendo depois colocados novamente no laboratório para serem consolidados e ensaiados.



Figura 4.4 – Provetes brancos não pigmentados, provetes pigmentados e provetes cinzentos em envelhecimento natural

4.3.2 Segunda fase experimental – Aplicação dos consolidantes

Na segunda fase da campanha experimental procedeu-se à aplicação dos produtos consolidantes nos provetes de cimentos Portland branco e cinzento. Os provetes foram divididos em quatro grupos: de referência (sem qualquer tratamento), com NanoEstel®, com NanoRestore®, e com a mistura de ambos os consolidantes. Em relação às condições de cura, após a aplicação dos consolidantes os provetes foram novamente condicionados na sala a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 5\%$ HR.

4.3.3 Terceira fase experimental – Ensaios dos provetes não pigmentados

Os ensaios aos provetes consolidados foram efectuados 28 dias após a aplicação dos consolidantes. Todos os ensaios efectuados são não destrutivos e estão listados na Tabela 4.2.

Os provetes foram validados por comparação com a caracterização efectuada no próprio mural ou em amostras recolhidas. Foi seleccionada a consolidação a aplicar nos provetes pigmentados.

4.3.4 Quarta fase experimental – Aplicação dos consolidantes nos provetes pigmentados

A quarta fase da campanha experimental consistiu na consolidação dos provetes já antes pigmentados com Ocre Amarelo e Vermelho Bayer. A escolha do consolidante recaiu sobre o produto que aliava uma melhoria substancial na coesão superficial dos provetes, o maior problema do mural, não introduzisse alterações significativas na permeabilidade à água e que não alterasse substancialmente as coordenadas colorimétricas dos provetes. Em relação à cor, e como os provetes anteriores não eram pigmentados, foi tido em conta as variações da coordenada L^* , coordenada essa que rege a variação da luminosidade – quanto maior for a coordenada, de 0 a 100, mais próxima fica do branco. Após a aplicação do consolidante, os provetes ficaram 28 dias em cura a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 5\%$ HR.

Tabela 4.2 – Ensaio realizados 28 dias após consolidação

Ensaio	Provetes	In-situ/Amostras Mural
Porosidade aberta	✓	✓
Avaliação da permeabilidade à água sob baixa pressão – Tubos de Karsten	✓	✓
Avaliação da dureza Superficial – Esclerómetro Pendular	✓	✓
Avaliação da dureza Superficial – Durómetro Shore A	✓	✓
Avaliação da coesão superficial	✓	
Avaliação da resistência à abrasão – Desgaste superficial	✓	
Avaliação das coordenadas colorimétricas	✓	

4.3.5 Quinta fase experimental – Ensaio dos provetes pigmentados

A quinta fase experimental foi em tudo semelhante à terceira; contudo adicionaram-se os ensaios de capilaridade e secagem, de modo avaliar o comportamento dos revestimentos pigmentados e consolidados face à água. Houve no entanto, um maior foco no ensaio de colorimetria de maneira a que houvesse uma maior percepção da variação da cor após a aplicação do consolidante e se este contribuiria ou não para uma recuperação da cor.

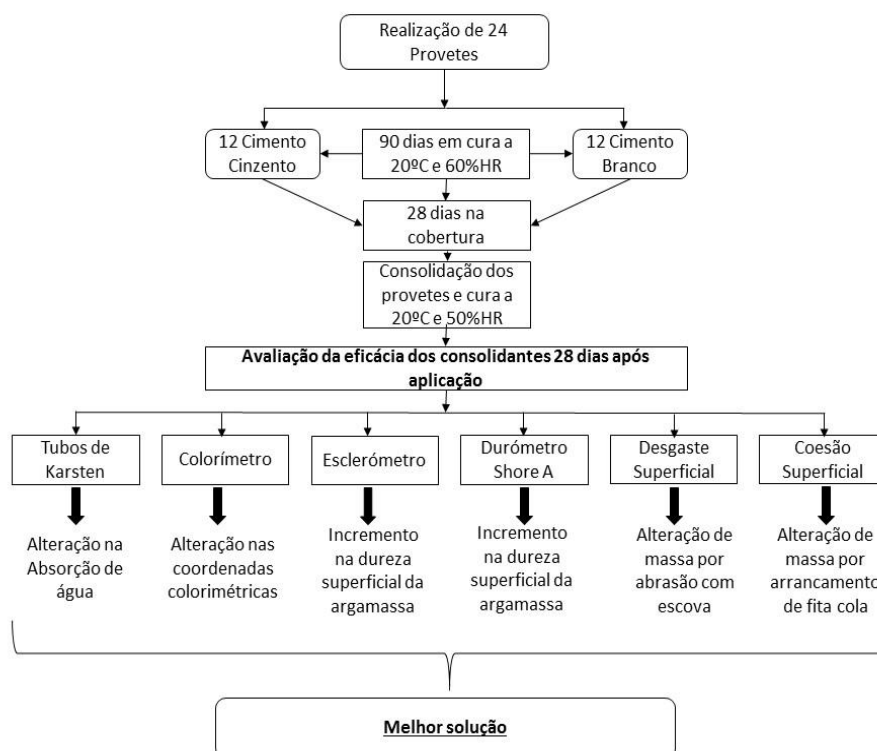


Figura 4.5 – Esquema da terceira fase experimental

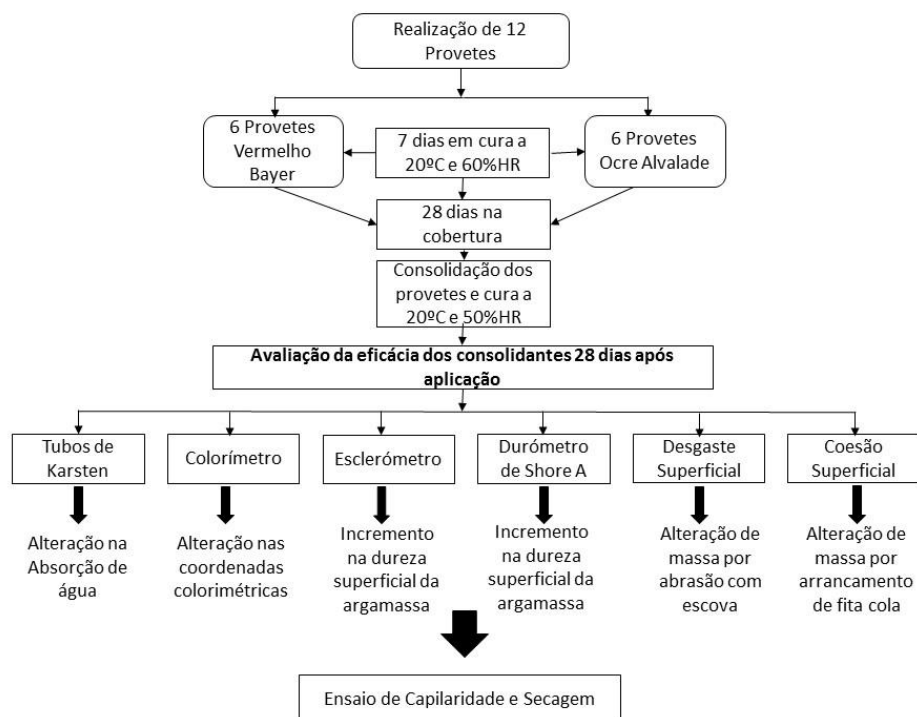


Figura 4.6 – Esquema da quarta e quinta fase experimental

4.4 Produção das argamassas

O processo de produção das argamassas realizou-se com base na norma NP EN 1015-2 (CEN 1998c). Partindo de uma massa conhecida de areia, o valor máximo da capacidade da misturadora do laboratório (4 kg), determinaram-se as massas dos restantes constituintes, em traços em massa correspondentes ao traço volumétrico escolhido de 1:6 (Tabela 4.3). Este traço em volume corresponde a traço em massa de 1:9,4.

Todos os constituintes a utilizar na argamassa são pesados com uma balança de precisão 0,1 g. Depois de pesados, os materiais (cimento Portland branco\cinzento e areia) são homogeneizados manualmente com o recurso a uma pá de pedreiro. O conteúdo do tabuleiro é então colocado na cuba da misturadora mecânica de dimensões normalizadas e que possui uma pá que efectua movimentos de rotação à velocidade de 120 r.p.m e planetário a 60 r.p.m.. À parte, com uma proveta graduada, mede-se a água que irá ser colocada na mistura. Dá-se então início à mistura mecânica, ao mesmo tempo que é adicionada água, durante os 30 segundos iniciais. É feita uma pausa ao fim de 60 segundos de modo a que se possa permitir uma remoção de material existente nas laterais da cuba. É então retomada a mistura mecânica até que perfaça um total de 3 minutos.

Tabela 4.3 – Quantidades dos componentes das argamassas

Argamassa cimentícia – Traço 1:6	
Areia	4,000 kg
Cimento Portland cinzento	0,426 kg
Cimento Portland branco	0,427 kg
Água potável	0,600 dm ³

4.5 Caracterização das argamassas no estado fresco

4.5.1 Consistência por espalhamento

O ensaio de consistência por espalhamento foi realizado com base com a norma EN 1015-3 (CEN 1999). Através da determinação deste valor é possível ter uma noção da influência da água no comportamento de uma argamassa a nível de trabalhabilidade.

Antes de o ensaio se iniciar, todo o material de laboratório é humedecido para que as condições sejam idênticas em todas as repetições. A determinação da consistência por espalhamento é feita com recurso a uma mesa de espalhamento com molde tronco-cónico, um pilão para compactação da argamassa e uma craveira para medição dos diâmetros das argamassas.

A argamassa fresca é preparada e colocada no molde tronco-cónico em duas fases cada uma compactada com 20 pancadas com o pilão. A superfície é então regularizada com a colher de pedreiro e cuidadosamente retira-se o molde. Rodando a manivela são dadas 15 pancadas em 15 segundos. São então medidos os diâmetros de espalhamento da argamassa no mínimo em duas direcções com a ajuda da craveira.

4.5.2 Massa volúmica em estado fresco

A determinação da massa volúmica em estado fresco é feita de acordo com a norma EN 1015-6 (CEN 1998a). No ensaio determina-se a massa volúmica aparente de uma argamassa através do quociente entre a massa e o volume ocupado pela amostra, através de condições de compactação referidas na norma.

Enche-se até metade um recipiente com capacidade de armazenamento de 1 dm³. Posteriormente, compacta-se através da aplicação de 15 pancadas com pilão. De seguida, preenche-se o restante do recipiente com argamassa até ficar em excesso, volta-se a proceder com a acção de compactação, desta feita na segunda camada. Finalmente, alisa-se a superfície da argamassa no recipiente, sem que se induza maior compactação e pesa-se o recipiente com a argamassa.

4.5.3 Teor em ar

Este ensaio foi realizado à argamassa no estado fresco, com base na norma EN 1015-7 (CEN 1998b).

O procedimento de ensaio iniciou-se com a calibração do aparelho. Foi reutilizado o recipiente do ensaio de massa volúmica em estado fresco. Garante-se a inexistência de qualquer material sólido entre os bordos de contacto dos dois recipientes. Coloca-se o equipamento sobre o recipiente fixando-o com grampos. O equipamento é constituído por um manómetro, um manípulo de bombagem, uma válvula de entrada e de saída de água, uma válvula de precisão para controlo da pressão e uma alavanca de escape. Introduce-se água pela respectiva válvula, até que por purga a água verte pela extremidade de saída. A válvula de saída é fechada e posteriormente a de entrada. Aumenta-se a pressão até o manómetro ultrapassar o ponto que indica o zero, acertando com este mesmo ponto com o auxílio da válvula de pressão. Pressiona-se a alavanca de ar e lê-se o manómetro quando estabilizado, indicando o valor do teor em ar da argamassa.

4.6 Produção dos provetes

As argamassas foram preparadas de modo a que se obtivessem 12 provetes de cimento Portland cinzento e 12 provetes de cimento Portland branco, de dimensões 10x10x3,5 cm³ (Figura 4.7). Com cada mistura efectuada com as quantidades mencionadas na Tabela 4.3, foi possível realizar 7 provetes, sendo necessário realizar duas cubas para cada tipo de argamassa, a de cimento branco e a de cimento cinzento.

Os moldes onde se colocaram as amassaduras para os provetes foram previamente untados com óleo descofrante de maneira a ser mais fácil a remoção da argamassa endurecida.

Os provetes foram colocados nos moldes ficando em cura como já referido em 4.3.1.



Figura 4.7 – Provetes de cimento Portland cinzento e branco em cura

Subsequentemente à cura de 90 dias dos provetes de cimento Portland branco e cinzento foram realizados os restantes provetes de cimento branco para pigmentar. Utilizaram-se as mesmas quantidades referidas na Tabela 4.3 e o mesmo procedimento.

Após 24 horas da colocação destes últimos provetes nos moldes de madeira, procedeu-se à sua pigmentação com Ocre Alvalade e Vermelho Bayer, simulando a técnica de *fresco* utilizada no mural.

De acordo com o Artista, foi empregado cimento branco como fixador. Desse modo foi elaborada uma mistura com as proporções de 1:3:10 (fixador:pigmento:água). A mistura foi colocada na cuba mecânica e misturou-se durante 90 segundos. Os provetes foram pigmentados com uma demão aplicada de forma cruzada, isto é, os provetes eram pincelados primeiro na horizontal e posteriormente na vertical. Por último, foram colocados em cura durante 7 dias e nas condições referidas em 4.3.1.

4.7 Identificação dos provetes

Como em qualquer campanha experimental, é feita a identificação de todos os provetes realizados; desta forma previnem-se possíveis erros de ensaio, tratamentos de resultados ou mesmo mistura de provetes dada a variedade de consolidantes utilizados e a semelhança entre provetes.

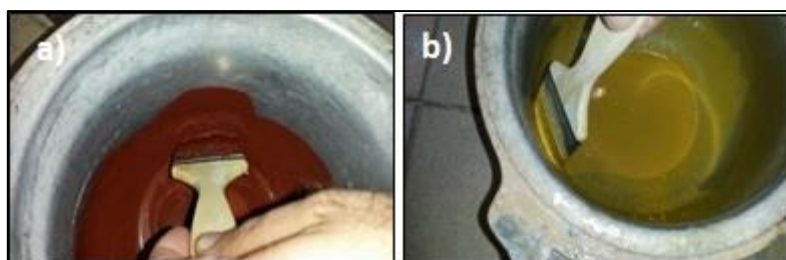


Figura 4.8 – a) Vermelho Bayer; b) Ocre Alvalade

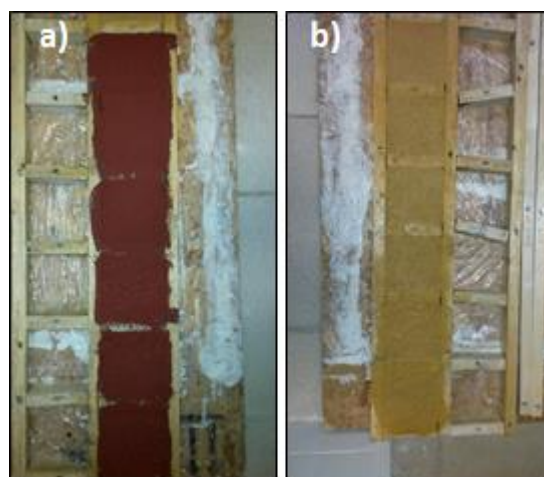


Figura 4.9 – Provete pigmentados com – a) Vermelho Bayer; b) Ocre Alvalade

A identificação dos provetes realizada nesta dissertação segue a seguinte sequência: **consolidante_tipo de cimento_nº do provete**, para os provetes de cimento Portland cinzento e branco. Para os provetes pigmentados a sequência utilizada foi: **consolidante_pigmento_nº do provete**. A utilização da referência “consolidante” nestes últimos provetes deve-se ao facto de desta forma se conseguir distinguir os provetes de controlo dos consolidados. Na Tabela 4.4 encontra-se o resumo das identificações dos provetes.

Tabela 4.4 – Identificação dos provetes

Tipo	Provete			
	Controlo	NanoEstel®	NanoRestore®	NanoEstel+Nano Restore
Cimento Cinzento (CC)	CTRL_CC_3	NE_CC_5	NR_CC_8	NR+NE_CC_1
	CTRL_CC_4	NE_CC_6	NR_CC_9	NR+NE_CC_11
	CTRL_CC_12	NE_CC_7	NR_CC_10	NR+NE_CC_2
Cimento Branco (CB)	CTRL_CB_1	NE_CB_6	NR_CB_3	NR+NE_CB_9
	CTRL_CB_2	NE_CB_7	NR_CB_4	NR+NE_CB_10
	CTRL_CB_12	NE_CB_8	NR_CB_5	NR+NE_CB_11
Ocre Alvalade (OA)	CTRL_OA_1	NE_OA_4	—	—
	CTRL_OA_2	NE_OA_5		
		NE_OA_6		
Vermelho Bayer (VB)	CTRL_VB_1	NE_VB_4	—	—
	CTRL_VB_2	NE_VB_5		
		NE_VB_6		

4.8 Consolidação das argamassas endurecidas

A preparação de ambos os produtos **NanoRestore®** e **NanoEstel®** foi idêntica e seguiu o seguinte procedimento: em primeiro lugar, agitou-se vigorosamente o recipiente onde estava contido o produto consolidante; de seguida, com um copo de precipitação retirou-se a quantidade de produto necessária e colocou-se no nebulizador; garantiu-se a inexistência de sujidade nos provetes e deu-se início à consolidação por nebulização. A superfície de cada provete foi dividida em 4 zonas, onde cada zona era nebulizada 3 vezes. Foi repetido o processo 3 vezes com intervalos de 5 minutos, o tempo necessário para que o excesso de produto fosse eliminado da superfície do provete (Figura 4.10).

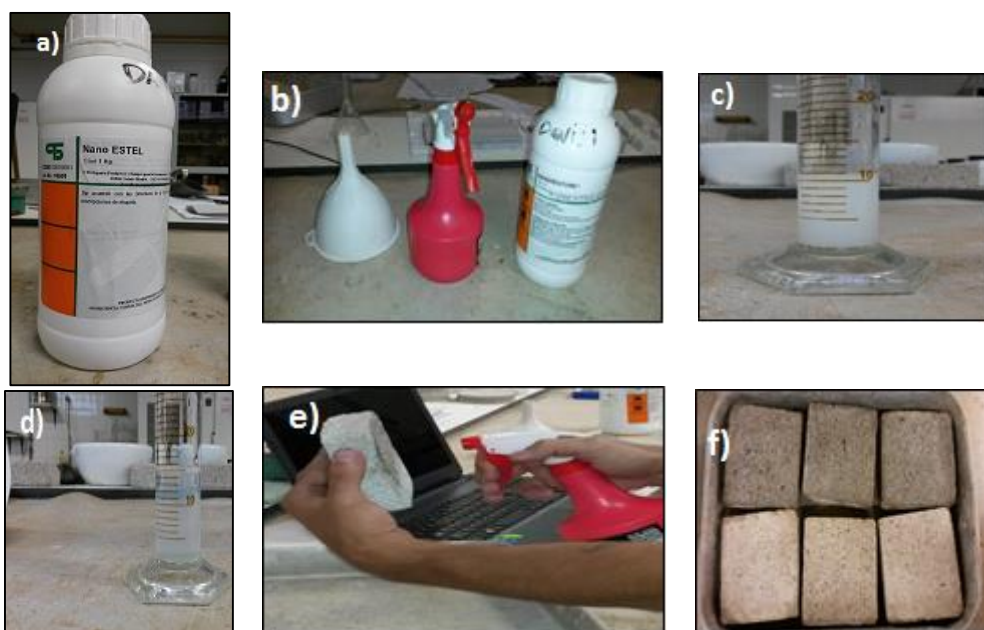


Figura 4.10 – a) NanoEstel®; b) NanoRestore®, nebulizador e funil; c) Solução de NanoRestore®; d) Solução de NanoEstel®; e) Nebulização; f) Provetes consolidados.

A aplicação do produto NanoEstel® nos provetes pigmentados foi em tudo semelhante ao procedimento anterior. Optou-se por não se realizar reintegração cromática pois um dos objectos de estudo era avaliar a capacidade do consolidante na recuperação da cor original.



Figura 4.11 – Aplicação do consolidante nos provetes pigmentados

— Preparação e aplicação do produto consolidante NanoRestore®+NanoEstel®

Na preparação desta solução foram necessárias algumas precauções pois a mistura de ambos os produtos causa a gelificação do NanoEstel® (Figura 4.12). A gelificação acontece devido à mudança de pH que ocorre ao misturar a solução com NanoRestore®. Esta situação foi ensaiada em laboratório e para a evitar foram executadas várias soluções de controlo com diferentes concentrações de produto.



Figura 4.12 – Gelificação da solução NR+NE

A solução que melhores resultados obteve foi com a concentração de 1:3:3 (NR:NE:H₂O), também com base em estudos efectuados por Barberena-Fernandez et al. (2014) e San Andrés-Moya et al. (2013). Esta solução não causava, a curto prazo, a gelificação do NanoEstel® e tornava possível a sua aplicação por nebulização - o que com outras era praticamente impossível pois o resultado da mistura tornava-se demasiado viscoso para passar pelo tubo do nebulizador.

O procedimento para a realização desta solução foi o seguinte: com um copo de precipitação retirou-se a quantidade de produto necessária para a aplicação; colocou-se a solução na cuba mecânica e deu-se início à mistura durante 2 minutos; o produto foi colocado no nebulizador e aplicado com o mesmo procedimento que o anterior.

De modo a haver uma quantificação do produto utilizado, foi medida a quantidade de produto aplicado e deste modo é possível calcular os custos do tratamento da consolidação, tanto em laboratório como futuramente no mural. Na Tabela 4.5 apresenta-se as quantidades utilizadas nos diferentes produtos aplicadas num provete.

Tabela 4.5 – Quantidade de NR+NE, NE e NR aplicados num provete

Consolidante	Quantidade de produto por provete (ml)	Área de aplicação (m ²)	Quantidade de produto (l/m ²)
NE	35 a 40	0,1	0,35 a 0,40
NR	25 a 30		0,25 a 0,30
NR+NE	40 a 50		0,40 a 0,50

Apresenta-se na Tabela 4.6 um resumo das consolidações efectuadas, seguidas de condições de cura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 5\%$ HR.

Tabela 4.6 – Consolidantes e respectiva simbologia.

Consolidantes	Simbologia
NanoRestore®	NR
NanoEstel®	NE
NanoRestore®+ NanoEstel®	NR+NE
NanoEstel® + Pigmento Vermelho Bayer	NE_VB
NanoEstel® + Pigmento Ocre Alvalade	NE_OA

4.9 Campanha experimental para validação dos provetes produzidos

Para validação dos provetes produzidos face às características do mural, procedeu-se a ensaios às seguintes amostras e provetes: amostras extraídas do mural e provetes efetuados por Simas (2015) com o artista Jorge Pé-curto. Os resultados desta caracterização são comparados com a efetuada aos provetes produzidos na presente dissertação, para a sua validação.

Foi realizado o ensaio de porosidade aberta, que quantifica o volume total de poros conectados. Baseia-se na norma NP EN 1936 (IPQ 2008). Para a realização deste ensaio partiu-se cada um dos provetes ou amostras em peças pequenas. Os provetes são acondicionados em estufa durante 24 horas a 60°C , até atingirem massa constante. Com uma balança de precisão de 0,001 g os provetes são pesados registando-se o valor M_1 de cada um. De seguida, são colocados num exsiccador interligado a uma bomba de vácuo durante 24 horas para que deste modo a pressão no interior atinja 2667 Pa (Figura 4.13a). É introduzida a quantidade de água necessária para a total imersão dos provetes, a uma temperatura de 15 a 20°C . Os provetes são mantidos em total imersão durante 24 horas à pressão referida anteriormente e nas 24 horas seguintes à pressão atmosférica (sendo a bomba desligada e a torneira de água aberta para entrar ar). Os provetes são então pesados em imersão, registando-se a massa M_2 e colocados num tabuleiro com papel absorvente de modo a que se retire a água em excesso mas se mantenham saturados (Figura 4.13b). Os provetes saturados são pesados e regista-se a massa M_3 .



Figura 4.13 – a) Exsicador com provetes; b) Balança para pesagem hidrostática

A porosidade aberta P_{ab} é obtida através da Equação 4.2:

$$P_{ab} = \frac{M_3 - M_1}{M_3 - M_2} \times 100 \quad \text{Equação 4.2}$$

em que: P_{ab} – porosidade aberta [%]; M_1 – massa seca dos provetes [g]; M_2 – massa dos provetes resultante da pesagem hidrostática [g]; M_3 – massa dos provetes saturados [g].

Foram realizados outros ensaios *in-situ*, como exposto na Tabela 4.2, de acordo com procedimentos apresentados no sub-capítulo seguinte.

4.10 Procedimentos de ensaio sobre argamassas endurecidas

4.10.1 Avaliação colorimétrica

A avaliação da cor dos provetes foi realizada em várias fases da campanha experimental. Em primeira instância a medição da cor foi efectuada 48 horas após a aplicação dos pigmentos. As coordenadas retiradas foram consideradas as coordenadas “padrão”. Posteriormente, as coordenadas foram mensuradas durante o envelhecimento natural dos provetes. Deste modo houve uma percepção da degradação gradual dos provetes ao envelhecimento. A medição foi também feita antes da consolidação, ou seja, logo depois de os provetes serem retirados do envelhecimento natural, e por ultimo, 28 dias após a consolidação. O sistema utilizado para a avaliação da cor foi o CIELAB. Este sistema permite avaliar a variação da cor através de três coordenadas: L^* que rege a variação da cor do mais claro para o mais escuro de 0 a 100, isto é 0 será preto absoluto e 100 o branco absoluto; a^* que é uma das coordenadas que rege as cores opostas, neste caso o vermelho e verde, sendo que a^* positivo obtém-se cor vermelha e o a^* negativo cor verde; b^* que rege a combinação de cores amarelo e azul, sendo o b^* positivo amarelo e o b^* negativo azul. Ambas as coordenadas a^* e b^* tem uma escala de -100 a +100 (X-Rite 2007) (Figura 4.14).

A relação não linear das coordenadas $L^*a^*b^*$ são destinadas a uma resposta não linear do olho. As alterações uniformes das coordenadas visam corresponder a alterações uniformes da cor perceptível, então as diferenças relativas entre quaisquer duas cores no espaço tridimensional $L^*a^*b^*$ podem ser aproximadas por tratamento de cada cor, como um ponto num espaço tridimensional e a diferença euclidiana será a variação da cor (Jain 1989).

O procedimento de ensaio consistiu na medição das coordenadas em 3 pontos distintos em 3 zonas de cada provete, sendo portanto avaliados 9 pontos no total em cada provete. Foi utilizado um colorímetro da marca DataColor International e modelo Microflash 4.0 do Departamento de Conservação e Restauro da FCT NOVA (Figura 4.15). O colorímetro é posicionado no ponto a avaliar, o gatilho é premido e são efectuadas três medições seguidas, obtendo-se a sua média no respectivo ecrã. Este processo repete-se em todos os pontos a avaliar.

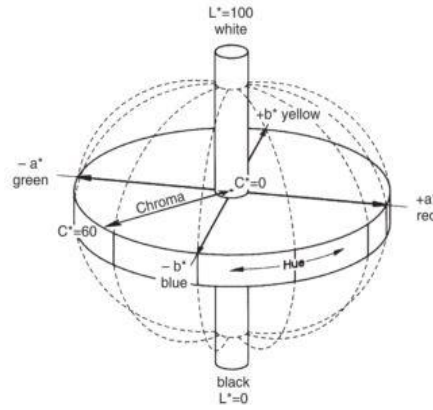


Figura 4.14 – Espaço CIELab (X-Rite 2007)

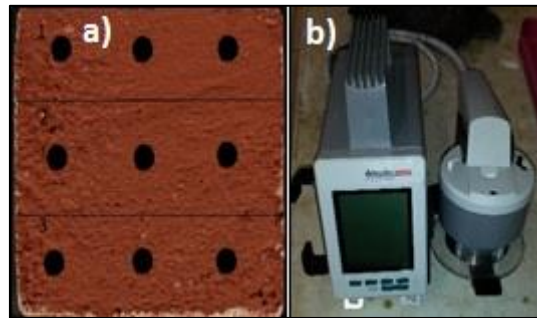


Figura 4.15 – a) Provete com zonas e posição dos pontos; b) Colorímetro Datacolor International

A avaliação da cor foi feita de duas formas: percentagem de variação da cor e pela variação total da cor ΔE . A variação da cor é a percentagem de perda ou ganho de cor na mesma zona ao fim de um determinado período de tempo para qualquer provete sujeito a qualquer tipo de envelhecimento (Equação 4.3) (Castillo & Castellote 2015); analogamente, para as coordenadas L^* e b^* . A variação total da cor ΔE indica a diferença total na cor ao longo do tempo, através da distância euclidiana no espaço tridimensional (Equação 4.4) (X-Rite 2007).

$$\%a = \frac{a_0 - a_t}{a_0} \times 100 \quad \text{Equação 4.3}$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2} \quad \text{Equação 4.4}$$

Nestas equações: $\%a^*$ – percentagem de variação da cor regida pela coordenada a^* (análogo para as restantes coordenadas); ΔE – variação total da cor; ΔL^* – variação da coordenada L^* ; Δa^* – variação da coordenada a^* ; Δb^* – variação da coordenada b^* ; a_0^* – coordenada a^* inicial (análogo para b^* e L^*); a_t^* – coordenada a^* após t tempo (análogo para b^* e L^*).

De acordo com Carmona-Quiroga (2010), Muller & Malaga (2011) e Sasse & Snethlage (1996), variações de ΔE inferiores a 5 unidades não são perceptíveis ao olho humano. Contudo valores entre 5 e 10 unidades já são perceptíveis mas encontram-se ainda na gama de valores aceitáveis; pelo contrário valores acima das 10 unidades são claramente visíveis e são considerados inaceitáveis.

O ensaio de colorimetria foi realizado para que as alterações cromáticas dos provetes fossem registadas e houvesse uma avaliação da recuperação da cor após a consolidação. Foram registados 3 pontos por zona, dividindo-se o provete em 3 zonas distintas.

4.10.2 Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten

O ensaio de absorção de água sob baixa pressão foi realizado 28 dias após a consolidação dos provetes de argamassa. Foi também avaliada a absorção *in-situ*, no mural, de modo a fazer um estudo comparativo entre os provetes laboratoriais e as características reais do mural.

O objectivo deste ensaio é analisar a variação de absorção de água entre os provetes de referência, os três tipos de consolidantes aplicados e o mural. São utilizados tubos de Karsten na superfície dos provetes e do mural. Os tubos simulam uma pressão de vento dinâmica equivalente a 140 km/h, deste modo é possível analisar as argamassas quanto à sua permeabilidade e quanto ao seu estado de degradação (Van Hees et al. 1995)

Pretende-se com este ensaio encontrar a solução que não modifique em demasia a estrutura porosa da argamassa, ou seja, que não reduza em demasia a permeabilidade ao vapor nem a capilaridade, pois se tal acontecer pode modificar o funcionamento do revestimento e ocorrer, dessa modificação, outro tipo de anomalias.

Os resultados obtidos pelo ensaio de absorção de água sob baixa pressão são expostos pela média e desvio-padrão do coeficiente de absorção (CA) resultante. Segundo Kunzal et al. (2004) (citado por Flores-Colen, 2009) o CA pode ser calculado através da Equação 4.5 (Flores-Colen 2009).

$$CA = \frac{W_{mt} \times 10^{-3}}{\Theta^2 \times \frac{\pi}{4} \times 10^{-6} \times \sqrt{t}} \quad \text{Equação 4.5}$$

Nesta equação: **CA** – coeficiente de absorção [$\text{kg.m}^{-2}.\text{min}^{-0,5}$]; **W_{mt}** – quantidade de água absorvida no final do ensaio [ml]; **Θ** – diâmetro interior do tubo de Karsten [mm]; **t** – tempo decorrido [min].

O procedimento deste ensaio é feito com base na norma EN 16302:2013 (CEN 2013a) e permite avaliar a permeabilidade de uma superfície à água sob baixa pressão. Os resultados apresentados expressam a quantidade de água absorvida pela superfície durante um determinado período de tempo. Dada a elevada permeabilidade dos provetes em estudo, optou-se por analisar a absorção de água sob baixa pressão aos 20 minutos.

Fixam-se os tubos com plasticina estanque à água aos provetes de argamassa (um tubo por provete) (Figura 4.16) ou ao mural; preenchem-se os tubos com água até atingir a marca dos 0 ml; inicia-se a contagem do tempo que o provete demora até absorver determinada quantidade de água ou a quantidade de água absorvida até ao limite do tempo definido, no caso 20 minutos.



Figura 4.16 – Ensaio de absorção de água a baixa pressão – Tubos de Karsten

No caso do ensaio de absorção de água sob baixa pressão *in-situ*, foram colocados tubos em duas zonas distintas – pigmentada com cal e pigmentada a vermelho e a amarelo (Figura 4.17). Desta forma foi possível avaliar se o pigmento causava alguma influência na capacidade de absorção de água da argamassa sob baixas pressões.

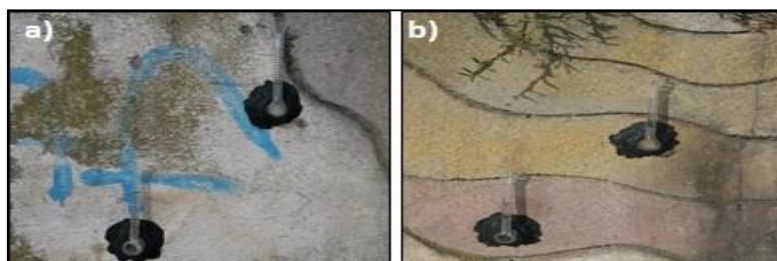


Figura 4.17 – a) Zona pigmentada com cal; b) zona a vermelho e amarelo

4.10.3 Dureza superficial – Durómetro Shore A e esclerómetro pendular

A medição da dureza dos provetes de argamassa de cimento Portland foi realizada 28 dias após consolidação e 28 dias após o envelhecimento natural. A dureza superficial da argamassa pode ser avaliada com o durómetro *Shore A*. Este equipamento mede a resistência que o provete oferece à penetração de um pino, por acção de uma mola, pressionado contra um material, sob uma carga normalizada. A escala do durómetro varia entre 0 e 100, sendo que os valores mais elevados indicam uma maior dureza do material. A leitura do durómetro indica o valor em graus Shore. O objectivo deste ensaio foi a avaliação do incremento de dureza superficial que o tratamento com os variados produtos consolidantes induz na argamassa, relativamente a uma amostra não consolidada. O ensaio foi também realizado *in-situ* de modo a que houvesse uma percepção da dureza superficial real do mural.

— Descrição do ensaio com durómetro

O ensaio é baseado na norma ASTM D2240 (ASTM 2000) e ISO 7619 (ISO 1997) e consiste na medição em 9 pontos distintos por provete, indicando-se a média e desvio-padrão da dureza obtida.

Foi utilizado um Durómetro Shore A, PCE Group (Figura 4.18).



Figura 4.18 – Durómetro PCE

— Descrição do ensaio com esclerómetro

A medição da dureza superficial de uma argamassa por meio de um esclerómetro pendular é o mais indicado para o ensaio de revestimentos e alvenarias de baixas resistências. O equipamento é munido de uma massa conhecida que choca contra uma superfície, resultante de uma reacção elástica por impulso. A altura do ressalto é directamente proporcional à dureza da superfície em estudo, isto é, quando mais dura for a superfície, maior será o ressalto causado. A dureza da superfície em estudo é avaliada pelo valor do deslocamento de retorno da massa conhecida. O valor gerado pelo deslocamento retorna em graus Vickers. A diferença entre o ensaio de esclerómetro pendular e o durómetro de *Shore A* é as diferentes camadas que cada um avalia. O Durómetro *Shore A* avalia as camadas mais finas da argamassa; pelo contrário o esclerómetro pendular avalia a camadas mais espessas. O objectivo deste ensaio é avaliar o incremento de dureza superficial que cada tratamento induz na argamassa em estudo comparativamente à argamassa de controlo. O ensaio de esclerómetro pendular foi também realizado *in-situ*.

O ensaio foi realizado com base na norma ASTM C805 (ASTM 2008) e consiste em fazer um ensaio por provete dado que a argamassa em estudo é bastante friável e pode quebrar. Os valores dos resultados são analisados e é elaborada uma média e desvio-padrão dos valores.

Foi utilizado um esclerómetro pendular Schmidt PM (Figura 4.19).

O esclerómetro é bem encostado à superfície em estudo; o gatilho de disparo é pressionado e a massa conhecida liberta-se; o processo é repetido para todos os provetes.



Figura 4.19 – Esclerómetro PM

4.10.4 Coesão Superficial

O ensaio de avaliação da coesão superficial das argamassas também foi realizado 28 dias após envelhecimento natural e 28 dias após consolidação dos provetes. O presente ensaio tem como principal objectivo avaliar o incremento de consolidação superficial que cada argamassa tratada com produto consolidante tem em relação à argamassa de referência. O procedimento do ensaio é bastante simples e consiste em colocar faixas de fita-cola com a mesma dimensão e massa, neste caso 50mm x 70 mm (Figura 4.20), que são posteriormente pesadas numa balança de precisão 0,001 g. Os rectângulos de fita-cola são colados nos provetes através da colocação de um peso normalizado com 5 kg sobre um rectângulo de borracha aplicado sobre a superfície a ensaiar, de modo a que seja aplicada uma força constante mantida durante 5 minutos. A fita-cola é retirada com um movimento único e são pesados novamente os rectângulos, numa balança com precisão de 0,001g. A diferença de massa permite avaliar a coesão superficial dos provetes. É efectuado o tratamento de dados de modo a obter-se média e desvio padrão.

O procedimento do ensaio é baseado em Drdácý et al. (2014) e Faria et al. (2015).

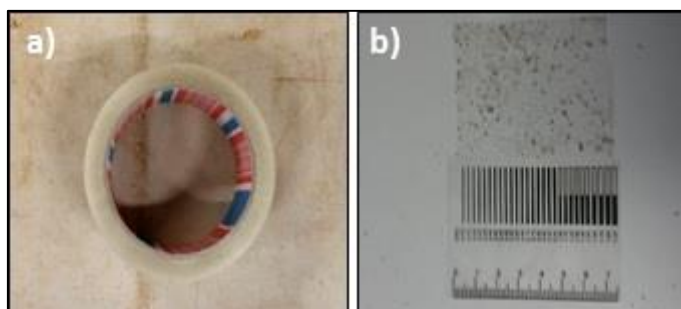


Figura 4.20 – a) Fita-cola TESA®; b) Exemplo de rectângulo de fita-cola

4.10.5 Resistência à abrasão – Desgaste superficial

O ensaio de resistência à abrasão também foi realizado 28 dias após envelhecimento natural e 28 dias após a consolidação dos provetes. O presente ensaio permite avaliar a capacidade de resistência a uma acção mecânica, neste caso abrasão, que os produtos consolidantes induzem nos provetes.

Os provetes foram pesados numa balança de precisão 0,001 g e foram então colocados num equipamento semelhante a uma máquina caroteadora, sob uma escova que exerce uma força constante de 2 kg; escova (Figura 4.21). A máquina é munida de uma corda que ao ser puxada faz com que a escova dê 20 voltas. A rotação da escova impõe uma solicitação mecânica de desgaste na superfície do provete. A diferença do peso inicial e do peso após a acção da escova indica a massa do material desgastado em cada provete. Os dados são tratados de modo a que seja indicada a média e desvio-padrão de cada provete.

O procedimento do presente ensaio foi adaptado da norma DIN 18947 (DIN 2013) e Faria et al. (2015).

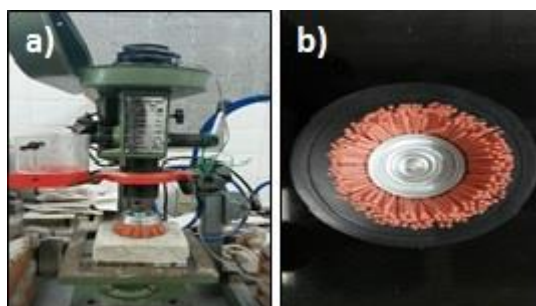


Figura 4.21 – a) Máquina adaptada ao ensaio; b) Escova utilizada

4.10.6 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado apenas nos provetes pigmentados com Ocre Alvalade e Vermelho Bayer. A realização do ensaio deu-se quando os provetes tinham as idades de 28 dias após consolidação e 28 dias de envelhecimento natural. O estudo da absorção de água por capilaridade é efectuado através da análise da curva de capilaridade que traduz a evolução da quantidade de água absorvida pela área dos provetes, em função da raiz quadrada do tempo de ensaio - que nas suas ordenadas representa a quantidade de água absorvida pela área do provete [kg.m^{-2}] e em abcissas a raiz quadrada do tempo decorrido [$\text{min}^{-0.5}$]. O valor da ordenada da curva em cada ponto é obtido através da Equação 4.6:

$$\Delta M = \frac{M_i - M_0}{S} \quad \text{Equação 4.6}$$

em que: ΔM – água absorvida por capilaridade por área de absorção [kg.m^{-2}]; M_i – massa do provete no instante i [g]; M_0 – massa do provete seco [g]; S – área do provete [m^2].

O troço inicial mais representativo da curva é um segmento de recta cujo declive corresponde à velocidade de absorção de água nos instantes iniciais, isto é, o coeficiente de capilaridade (CC) expresso em [$\text{kg.m}^{-2}.\text{min}^{-0.5}$]. Pode ser obtido através de uma regressão linear (Equação 4.7) desse troço.

A capilaridade geralmente tem três fases: a fase inicial poderá variar em cada um dos provetes, dependendo do instante em que a curva passa de rectilínea para curvilínea, pelo que este valor será calculado individualmente.

$$y = m.x + b \quad \text{Equação 4.7}$$

Nesta equação: y – valor da fase considerada inicial do gráfico [kg.m^{-2}]; x – valor da fase considerada inicial do gráfico [$\text{min}^{-0.5}$]; b – ordenada na origem, 0; m – coeficiente de capilaridade [$\text{kg.m}^{-2}.\text{min}^{-0.5}$].

O ensaio de absorção de água por capilaridade iniciou-se com a secagem dos provetes em estufa a 60°C durante 48 horas, para atingirem massa constante. O segundo passo consistiu na selagem lateral dos provetes seleccionados com uma resina *epóxi*, para evitar a evaporação de água pelas faces laterais dos provetes. Posteriormente e de modo a ser conhecida a área dos provetes, delimitou-se o contorno que ficaria em contacto com a água e com a ajuda do programa de desenho *AutoCAD* mediu-se a área de cada um dos provetes (S).

De seguida, iniciaram-se as pesagens dos provetes já com a resina *epóxi* seca, numa balança de precisão 0,001 g, obtendo-se o valor M_0 . Os provetes foram então colocados numa caixa nivelada através de um nível de bolha sobre uma lâmina de água de 2 mm, com a face não tratada em contacto com a água.

A caixa manteve-se fechada sendo apenas aberta para as pesagens seguintes de modo a manter as condições de humidade saturada e limitar a quantidade de água evaporada (Figura 4.22). Pesaram-se então os provetes aos 5, 10, 15, 30, 60 minutos e nas horas seguintes perfazendo um total de 8 horas, adicionando-se água sempre que necessário para manter o nível, e posteriormente de 24 em 24 horas, obtendo-se assim as massas M_i . O ensaio teve o seu término quando a diferença de massas foi inferior a 1%.

O ensaio baseou-se na norma EN 15801 (CEN 2009) e EN 1015-18:2002 (CEN 2002) com algumas adaptações. Através deste ensaio é possível analisar a velocidade inicial de absorção de água (CC) e o volume total de água absorvida por unidade de área (VA). O ensaio foi realizado na sala condicionada a 20 ± 2 °C e HR de 65 ± 5 %.



Figura 4.22 – a) Resina *epóxi*; b) Provete isolado com resina *epóxi*; c) Provete sobre lâmina de água

4.10.7 Secagem unidireccional

À semelhança do ensaio de absorção de água por capilaridade, o ensaio de secagem unidireccional foi efectuado apenas nos provetes pigmentados com Ocre Alvalade e Vermelho Bayer. Os provetes tinham 28 dias de envelhecimento natural e 28 dias de consolidação com o produto NE.

O ensaio de secagem tem início imediatamente após a última pesagem do ensaio de capilaridade, ou seja, quando a variação da massa entre duas pesagens sucessivas em 24 horas não ultrapassa 1% da massa seca do provete. Baseia na norma EN 16322:2013 (CEN 2013b). Os provetes são mantidos com as faces na mesma posição que no ensaio de capilaridade. O ensaio decorreu na mesma sala do ensaio de absorção de água por capilaridade sob as mesmas condições de 20 ± 2 °C e a HR de 65 ± 5 %. Similarmente ao ensaio de capilaridade, a variação da massa por evaporação da água é mais elevada nas primeiras horas de ensaio. Este facto deve-se a uma continuidade da fase líquida derivada da maioria dos poros estarem preenchidos com água. Dessa forma a evaporação ocorre à superfície onde se localiza a secagem; deste modo, a fase inicial do gráfico do ensaio de secagem com tempo em abcissa é uma recta (Brito et al. 2011). Na segunda fase, a frente de secagem recua para o interior dos provetes; assim sendo o transporte de água da zona húmida até à superfície é feito por difusão do vapor nos poros do provete. Com o adiantar do ensaio há um progressivo recuo da zona húmida, aumentando o percurso da difusão do vapor e consequentemente uma diminuição da velocidade de de secagem do material.

O presente ensaio permite determinar a Taxa de Secagem na 1ª e 2ª fases de secagem (TS1 e TS2) e o índice de secagem (IS). As TS permitem aferir as velocidades da primeira fase de secagem (TS1) e da segunda fase de secagem (TS2;) assim quanto maior for a TS maior será a velocidade de evaporação. Por outro lado, o IS indica a dificuldade com que se dá a secagem total. Em suma, o que se pretenderá são valores relativamente elevados de TS, que indicam uma rápida secagem nas fases 1 ou 2, e valores baixos de IS, que indicam uma maior facilidade de secagem total. No caso em questão interessa pelo menos aferir que o tratamento não prejudique a situação anteriormente existente.

A evolução do ensaio é registada pelo decréscimo do teor em água de cada provete ao longo do tempo. Desta forma, o ensaio termina quando o valor se aproxima de uma baixa percentagem de variação e massa. O teor em água é determinado através da Equação 4.8 (CEN, 2009).

A partir dos valores obtidos é possível traçar a curva de secagem, com o tempo (para determinar TS1 e IS) ou com raiz do tempo (para determinar TS2) em abcissas. Efectuando uma regressão linear dos troços rectos que definem TS1 e TS2 é possível obter esses valores. O IS é obtido simplifadamente pela Equação 4.9 (Grilo et al. 2014).

$$W_t = \frac{m_i - m_0}{m_0} \times 100 \quad \text{Equação 4.8}$$

$$IS = \frac{\sum_{i=1}^n [(t_i - t_{i-1}) \times \frac{W_{t,i-1} + W_{t,i}}{2}]}{W_{max} \times t_t} \quad \text{Equação 4.9}$$

Nestas equações: W_t – teor em água no instante t [%]; m_0 – massa do provete seco [g]; m_i – massa do provete no instante t_i [g]; IS – índice de secagem; t_i – tempo no instante i [h]; $W_{t,i}$ – teor em água no instante i [%]; $W_{t,max}$ – teor em água máximo [%]; T_t – tempo total do ensaio [h].

Envolve-se em película *celofane* a base e as laterais do provete (já previamente impermeabilizadas com resina) para que a secagem se dê apenas numa direcção. A película de celofane é mantida por um elástico. O provete é colocado sobre uma bancada lisa e homogénea. Pesa-se o provete nos instantes de tempo 0, 1, 2 horas até perfazer um total de 8 horas e posteriormente com pesagens sucessivas com intervalos de 24 horas até perfazer um total de 504 horas.

— Procedimento de ensaio

- Mensurar os provetes saturados após o término do ensaio de capilaridade; envolver os provetes em celofane (Figura 4.23); pesar com intervalos de 1 hora durante 8 horas; pesar com intervalos de 24 horas até perfazer um total de 504 horas.



Figura 4.23 – Proвете envolvido em *celofane*

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

5.1 Enquadramento

No presente capítulo é feita a apresentação dos resultados obtidos durante a campanha experimental no estado fresco e endurecido e é feita a sua análise. Os dados obtidos na campanha experimental foram tratados e são apresentados sob a forma de gráficos e tabelas.

O primeiro sub-capítulo pretende analisar os resultados obtidos pelos ensaios em argamassas no estado fresco. Posteriormente, avalia-se os resultados registados em argamassas consolidadas não pigmentadas e também *in-situ*. Desta forma, é possível relacionar ambos os resultados e concluir qual a melhor solução a aplicar nas argamassas consolidadas pigmentadas. Por último são realizados os ensaios em argamassas pigmentadas e na Tabela 5.3 e Tabela 5.4 apresenta-se o resumo dos ensaios e respectivos resultados.

Os valores individuais de cada ensaio realizado para cada provete das diferentes argamassas e consolidantes podem ser consultados no Anexo III – Tabelas de resultados de ensaios das argamassas endurecidas.

5.2 Resultados obtidos nos ensaios de argamassas no estado fresco

Na produção das amassaduras a relação entre água e ligante foi a mesma de modo a assegurar uma trabalhabilidade semelhante entre as amassaduras de ambos os cimentos. Como o tipo de agregado utilizado e as quantidades são as mesmas, o diâmetro de espalhamento entre amassaduras tem uma diferença entre si residual.

Da análise dos resultados apresentados na Tabela 5.1 verifica-se que a massa volúmica da amassadura de cimento Portland branco é superior à de cimento Portland cinzento. Este valor vai influenciar os resultados obtidos no ensaio de teor em ar, na medida em que uma amassadura com uma massa volúmica de valor superior vai obter um valor inferior de teor em ar, pois o seu índice de vazios é mais reduzido.

Tabela 5.1 – Caracterização da argamassa no estado fresco

Cimento	Massa volúmica (kg/dm ³)	Teor em ar (%)	Diâmetro médio (mm)
Portland branco	1,887	10,5	153,5
Portland cinzento	1,873	12	154,5

5.3 Resultados obtidos nos ensaios realizados em argamassas consolidadas não pigmentadas

Em todos os provetes foi avaliada a evolução das coordenadas colorimétrica e foram realizados ensaios físicos, isto é, é determinado o tempo de absorção de água sob baixa pressão com a utilização dos tubos de Karsten, foi utilizado o durómetro *Shore A* para avaliar o incremento de dureza superficial que cada um dos produtos consolidantes introduziu nos provetes, o esclerómetro pendular avaliou também as camadas mais espessas da argamassa em termos de dureza e por último a resistência à abrasão e a coesão superficial permitiram avaliar a capacidade do consolidante em aglomerar as partículas mais superficiais dos provetes.

5.3.1 Avaliação colorimétrica

As variações das coordenadas colorimétricas provocadas pela consolidação dos provetes com os diferentes produtos utilizados é apresentada em anexo em formato de tabela (Tabela A.III 11, Tabela A.III 12, Tabela A.III 13, Tabela A.IV 14 e Tabela A.III 15).

Os resultados apresentados neste sub-capítulo dizem respeito à variação da cor comparando os provetes de referência e os provetes consolidados não pigmentados. As primeiras coordenadas colorimétricas foram registadas imediatamente antes à aplicação dos produtos e as últimas após os 28 dias de consolidação.

De modo a melhor perceber a variação da cor nos provetes de cimento Portland cinzento e branco registaram-se os valores da coordenada L^* do sistema tridimensional do CIELab. Ao registar-se os valores desta coordenada é possível afirmar se o provete clareou ou escureceu. Como os provetes não eram pigmentados a coordenada L^* torna-se a mais apropriada visto que supostas variações cromáticas nos provetes cinzentos e brancos expressar-se-ão em alterações nesta coordenada que rege a luminosidade.

A Figura 5.1 indica a variação em percentagem da coordenada L^* em relação aos provetes de referência. Os valores mais baixos para o consolidante NE indicam que a variação das coordenadas colorimétricas em relação aos provetes de referência foram muito próximas de 0, tanto para os provetes de cimento branco como para o cinzento. Estes valores são considerados óptimos, pois conclui-se que a introdução de cor é desprezável. O provete NE_1 obtém um valor de -4,4%, o valor negativo indica que houve um clareamento do provete, contudo, e tal é perceptível pela análise da Figura 5.2, apesar do valor em absoluto ser superior aos restantes valores obtidos com o consolidante NE, a variação total da cor ΔE é inferior a 4 unidades, o que segundo a referência bibliográfica já citada, é indetectável ao olho humano. Apesar de a variação total da cor ΔE indicar que as variações cromáticas não são perceptíveis, o NE introduz um ligeiro brilho nos provetes que é visível (Musacchi & Diaz Gonçalves 2014; Calia et al. 2012).

Analisando novamente a Figura 5.1, é verificável que o consolidante NR induz uma variação colorimétrica bastante elevada em comparação com os provetes de referência e com o NE. Para o cimento Portland cinzento, existe um clareamento do provete com uma variação da coordenada L^* na ordem dos -11% como valor mais elevado e na ordem dos 20% como valor mais elevado para o cimento Portland branco, sendo que este último valor induziu a um escurecimento do provete. Estes valores são confirmados com a análise da Figura 5.2, o provete NR_3 obteve um valor de variação total de cor na ordem de 15 unidades. O provete NR_1 tem uma variação total ΔE de 7 unidades, o que já perceptível ao olho humano, mas dentro dos parâmetros de aceitabilidade.

Por último, analisando o consolidante NR+NE, verifica-se desde logo no primeiro provete de cimento branco um escurecimento do mesmo, tomando valores bastante elevados, entre os 10,9 e 20,9% de taxa de variação da coordenada L^* . Por outro lado para os provetes de cimento cinzento, e justificável por serem mais escuros que os anteriores, a taxa de variação é muito baixa. Os valores de variação total da cor confirmam o anteriormente explicado, sendo para os provetes de cimento Portland branco o valor de ΔE é bastante elevado, cerca de 16 unidades para o primeiro provete e aproximadamente 9 para os provetes CB_2 e CB_3. Para o cimento cinzento os valores são próximos das 3 unidades.

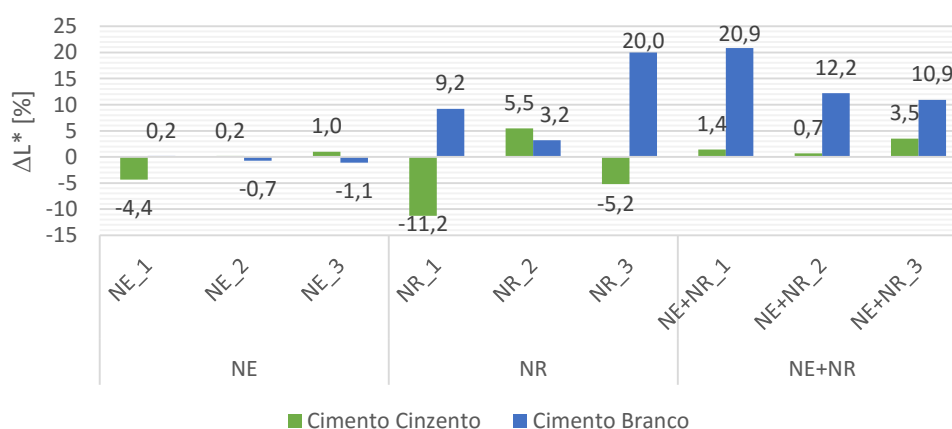


Figura 5.1 – Variação da coordenada L^* em % em relação aos provetes de referência

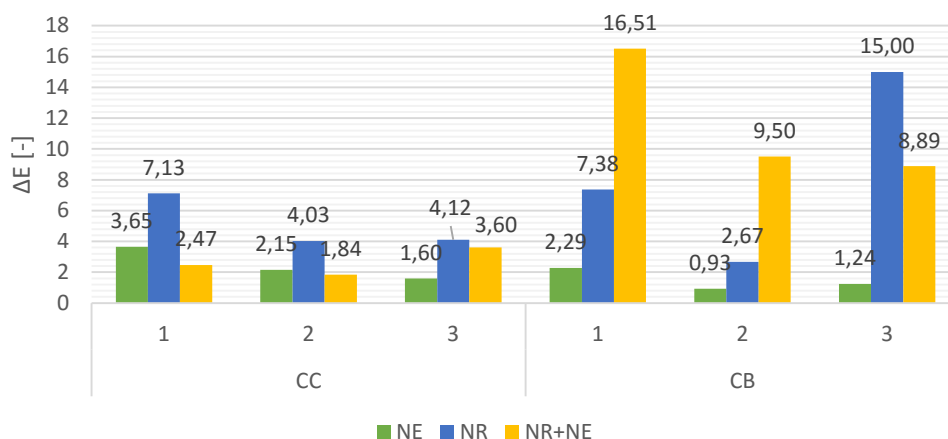


Figura 5.2 – Variação total da cor ΔE entre consolidantes

5.3.2 Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten

Neste ensaio o volume de água absorvida é contabilizada durante 60 minutos, em intervalos de 10 segundos, posteriormente 1 minuto e por último 5 minutos. Contudo, devido à elevada porosidade dos provetes, e consequentemente uma rápida absorção de água por parte dos mesmos, contabilizou-se a absorção de água por 20 minutos.

Os resultados obtidos para cada uma das formulações é exposto na Figura 5.4. Pela análise dos dados conclui-se que todos os consolidantes proporcionam um aumento do tempo de absorção de água, ou seja uma redução da permeabilidade, sendo que apenas os provetes de cimento Portland cinzento consolidado com a mistura NR+NE apresentam valores semelhantes aos provetes de referência. Esta disparidade no valor é justificável com o facto de o ensaio ser susceptível a erros humanos e a deficiências nos provetes, como por exemplo uma pequena fissura, que alterará a capacidade de absorção do provete em estudo.

O consolidante NE reduz em 5 vezes a permeabilidade da argamassa consolidada comparativamente à de referência. Esta redução da permeabilidade por parte do NE deve-se ao facto de este produto ter uma capacidade de preencher os poros mais pequenos que os restantes consolidantes, que devido ao tamanho superior das suas partículas não preenchem de maneira eficaz os poros de menor dimensão. Devido ao NE ser uma solução aquosa e com uma menor capacidade de penetração e como tal formar uma “película” homogénea na superfície do provete, conduz a uma maior impermeabilidade do objecto de estudo.

Os provetes consolidados com NR não diminuíram significativamente a permeabilidade comparativamente à referência. Ao contrário do NE, o produto NR tem uma óptima capacidade de penetração e preenche os poros mais interiores da argamassa, isto deve-se ao facto de a sua solução ser alcoólica. As partículas de NR têm uma configuração tipo placa, e depositam-se mais no interior da argamassa, ao contrário do NE que se deposita na superfície. Houve uma diferença substancial de valores entre os dois cimentos, mais uma vez este valor pode ser justificado com algum erro de ensaio.

A mistura de NR+NE para cimento Portland branco obteve um valor de absorção de água superior à referência e ambos os valores foram superiores a qualquer um dos outros produtos utilizados.

Outra forma de apresentar os resultados é como exposto na Figura 5.3, em que é possível ter uma percepção da água absorvida ao fim dos 20 minutos decorridos. Estes valores vêm apenas confirmar o já enunciado anteriormente: o NE é o produto que apresenta uma maior capacidade em diminuir a permeabilidade do provete, absorvendo apenas 2 ml de água em 20 minutos. Os restantes consolidantes absorvem entre 5 e 10 ml de água indicando que não modificam em demasia a permeabilidade da argamassa.

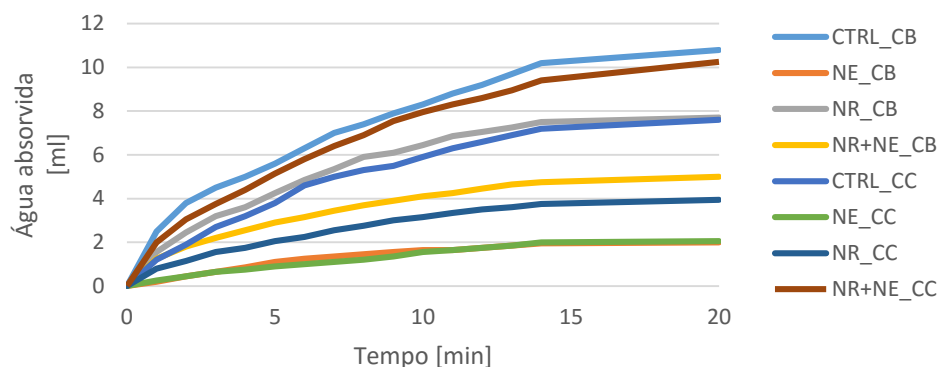


Figura 5.3 – Quantidade de água absorvida pelos provetes

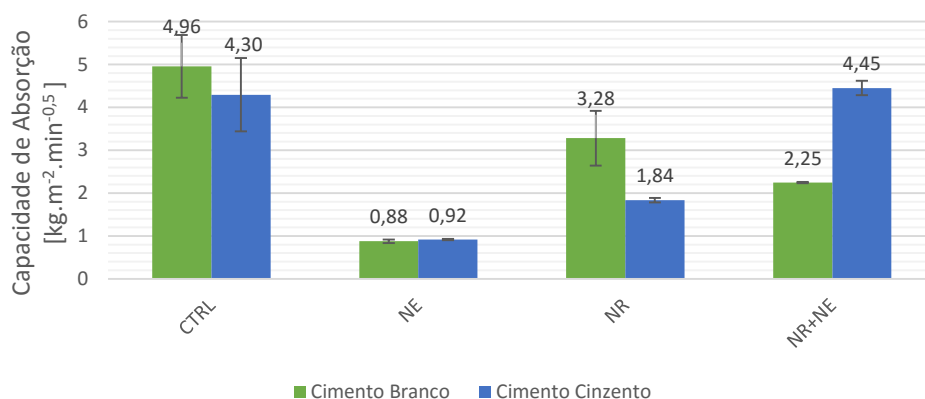


Figura 5.4 – Absorção de água sob baixa pressão nas argamassas consolidadas

5.3.3 Dureza superficial – Durómetro *Shore A* e esclerómetro pendular

Pela análise da Figura 5.5, conclui-se que todos os tratamentos utilizados para a consolidação das argamassas aumentaram substancialmente o valor de dureza superficial comparativamente às argamassas de referência.

Os valores mais elevados foram obtidos pelas formulações NE e NR+NE. De referir que a pouca diferença de valores entre estas duas formulações pode dever-se a uma maior acumulação de produto na superfície, pois apesar de o número de aplicações ser o mesmo, pode haver um maior depósito de material consolidante na superfície por parte da formulação NR+NE. O produto NR obteve o valor mais baixo obtendo apenas 1 grau *Shore* de diferença comparativamente à argamassa de referência e 3 de diferença para a formulação com NE. A maior disparidade de valores foi obtida com a formulação de NR+NE com uma diferença de 4 graus *Shore*. O cimento branco em todas as formulações, incluindo a referência, obteve resultados de dureza superficial mais baixos.

Por meio de esclerómetro pendular foram efectuadas medições em todos os provetes sendo apresentados também na Figura 5.5 os valores médios obtidos para as amostras de cimento Portland branco e cinzento não pigmentados. Pela análise dos resultados obtidos, verifica-se que comparativamente à argamassa de referência, todos os produtos consolidantes contribuíram para um aumento significativo da resistência das camadas mais espessas da argamassa. O produto com maior capacidade de aumentar a resistência superficial é a mistura de NR+NE, obtendo uma diferença de 15,5 graus Vickers para os provetes de cimento Portland cinzento e 16,5 graus Vickers para os provetes de cimento Portland branco. Este resultado vai ao encontro do que já tinha sido concluído pelo ensaio de durómetro *Shore A*.

A formulação NE obteve resultados bastante próximos dos registados pela formulação NR+NE, sendo a diferença de resultados de 2 graus Vickers para ambos os cimentos e de 13,5 e 14,5 graus Vickers comparativamente à argamassa de referência de cimento Portland cinzento e branco respectivamente.

A formulação NR obteve resultados semelhantes ao que já tinha obtido para o ensaio de durómetro *Shore A*, sendo uma vez mais o produto que obteve resultados menos satisfatórios de todos os consolidantes, mas não obstante, com resultados bastante superiores aos obtidos pela argamassa de referência.

Os ensaios de esclerómetro pendular e de durómetro *Shore A* estão directamente ligados entre si e também à melhoria das resistências mecânicas de um modo geral, nomeadamente resistência à compressão e flexão, pelo que resultados semelhantes entre os ensaios eram expectáveis.

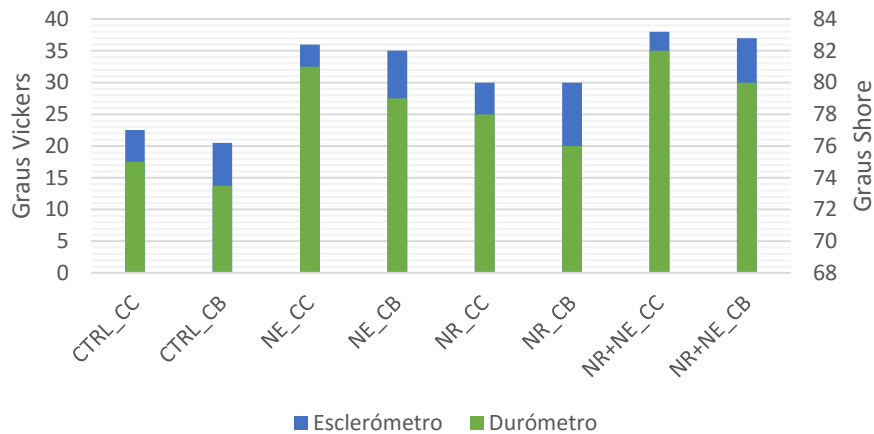


Figura 5.5 – Dureza superficial Durómetro *Shore A* e Esclerómetro pendular

5.3.4 Coesão superficial

No caso do ensaio de coesão superficial, a formulação NE foi a que obteve melhores resultados, isto é, os provetes consolidados com o produto NanoEstel®, foram os que tiveram menos material “arrancado” da sua superfície.

Este resultado indica que o NE é eficaz na consolidação da superfície dos provetes de argamassa de cimento Portland. A diferença de material arrancado da superfície comparativamente à argamassa de controlo foi notória, obtendo uma diferença de 0,128 g para o cimento Portland cinzento e de 0,100 g para o cimento Portland branco – apresentado na Figura 5.7.

A mistura NR+NE obteve resultados bastante satisfatórios com uma diferença em relação à argamassa de referência de 0,103 e 0,079 g para o cimento Portland cinzento e branco respectivamente. Contudo comparativamente a NE, esta formulação, apresentou resultados um pouco mais elevados a nível de massa arrancada da superfície. A componente NE da mistura induz um grau de consolidação superficial suficiente para obter resultados mais satisfatórios comparativamente à formulação NR que obteve os resultados mais altos a nível de massa arrancada. Esta última formulação apresenta uma diferença de 0,089 e 0,041 g comparativamente à argamassa de referência de cimento Portland cinzento e branco respectivamente.

Na Figura 5.6 é possível comparar as diferenças de massa arrancada no ensaio. O consolidante NE praticamente não tem vestígios de massa arrancada do provete e a mistura NR+NE apesar de conter bastantes vestígios na sua fita-cola, era maioritariamente resíduos da secagem do produto consolidante que se encontrava à superfície do provete, sendo portanto um material bastante leve, semelhante a pó. No sentido inverso, o consolidante NR contém vários resíduos de argamassa na fita-cola, assemelhando-se ao provete de referência.

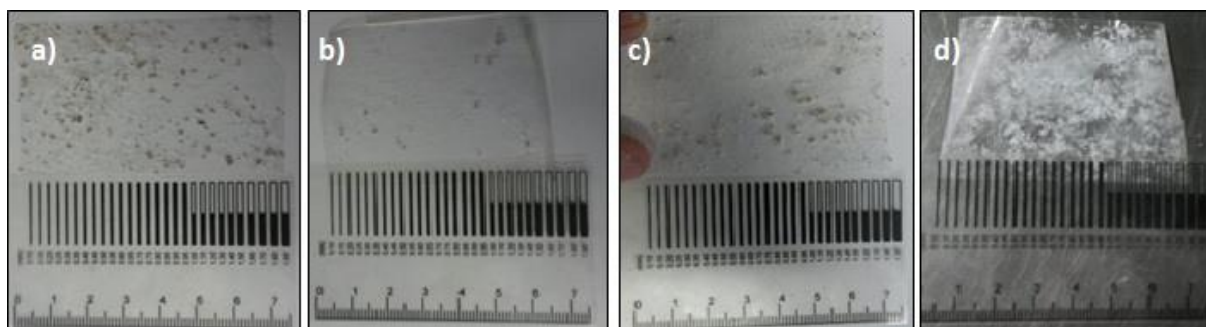


Figura 5.6 – Material aderido por falta de coesão a) CTRL b) NE c) NR d) NR+NE

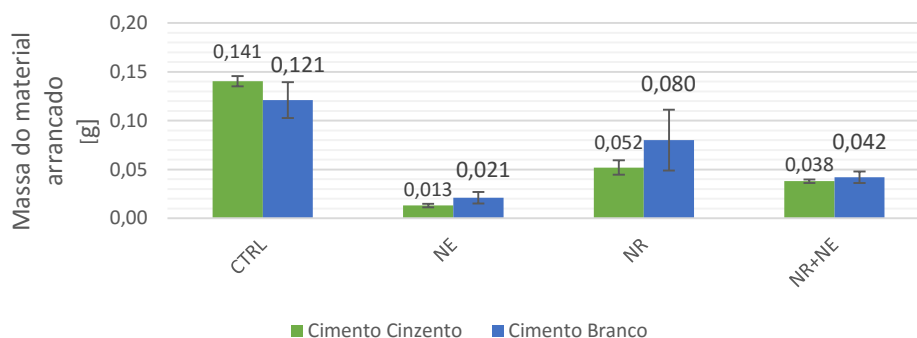


Figura 5.7 – Coesão superficial das argamassas de cimento Portland cinzento e branco

5.3.5 Resistência à abrasão – Desgaste superficial

Pela análise dos dados da Figura 5.8 confirma-se que todos os produtos consolidantes acrescentaram resistência à abrasão aos provetes. Os provetes consolidados com o produto NE perderam 0,158 e 0,187 g da sua massa inicial, uma diferença de 1,694 e 1,256 g comparativamente aos provetes de referência, um incremento de aproximadamente 11 vezes na resistência à abrasão. Esta formulação apresenta uma vez mais resultados bastante satisfatórios a nível de incremento de resistência superficial comparativamente aos restantes produtos.

No caso da mistura NR+NE, apesar de os resultados a nível de resistência à abrasão serem inferiores ao NE, são ainda bastante satisfatórios, contribuindo com um incremento de 150% para a resistência à abrasão da argamassa. Em termos de diferença de massa perdida comparativamente às argamassas de referência, a formulação NR+NE obteve uma diferença de 1,111 g e 0,879 g para o cimento Portland cinzento e branco respectivamente. O NR não atingiu um incremento satisfatório de resistência à abrasão contribuindo apenas com um aumento de 46% e 26% para o cimento Portland cinzento e branco.

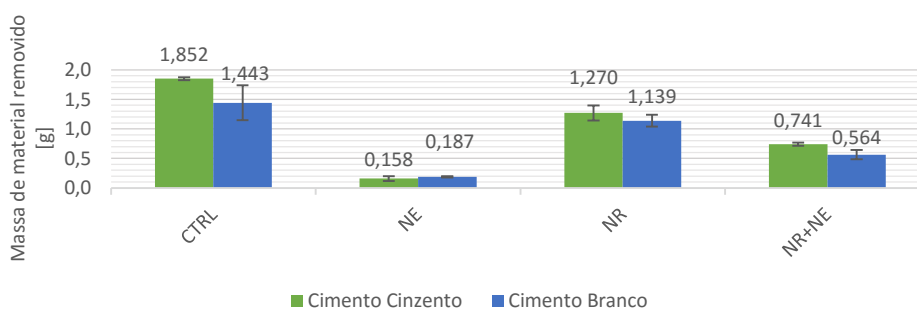


Figura 5.8 – Resistência à abrasão das argamassas de cimento Portland branco e cinzento

5.4 Resultados obtidos nos ensaios *in-situ*

De modo a haver um termo de comparação entre os resultados obtidos em laboratório e o mural, foram realizados ensaios não destrutivos *in-situ*. Estes ensaios em conjuntos com os já realizados por Simas (2015) permitem avaliar as características mecânicas do mural, nomeadamente, absorção de água sob baixa pressão, durómetro *Shore A* e esclerómetro pendular. Analisando os ensaios em laboratório e realizados *in-situ* conjuntamente, é possível concluir qual das formulações será a mais adequada para a aplicação no mural.

5.4.1 Porosidade aberta

Os resultados do ensaio de porosidade aberta estão expostos na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Media e desvio padrão dos resultados da porosidade aberta

Provetes	Porosidade aberta média [%]	DP [%]
Amostra do Mural	12,5	0,89
Provete do Artista	28,6	0,68
CTRL_CC	15,9	0,89
CTRL_CB	15,5	1,04

Os resultados demonstram que a porosidade dos provetes realizados em laboratório no âmbito desta dissertação estão mais próximos da porosidade real do mural que os provetes realizados por Simas (2015).

5.4.2 Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten

Comparando os resultados obtidos no ensaio *in-situ* com os obtidos em laboratório, é notório que a capacidade de absorção de água sob baixas pressões do mural é bastante reduzida comparativamente aos provetes de argamassa realizados em laboratório. Este facto está directamente associado à baixa porosidade da argamassa do mural.

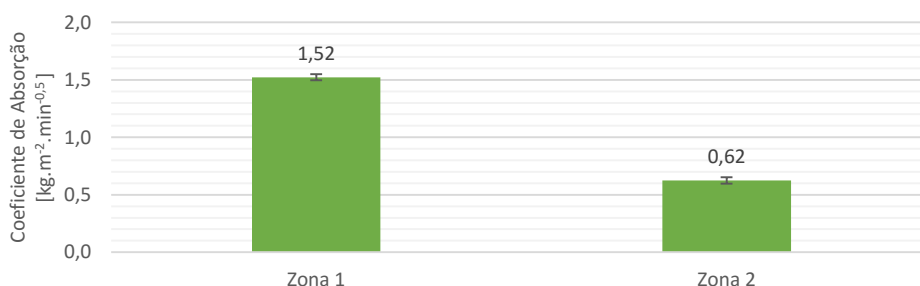


Figura 5.9 – Absorção de água sob baixa pressão – Tubos de Karsten

5.4.3 Dureza superficial – Durómetro *Shore A* e esclerómetro pendular

Os valores obtidos no ensaio *in-situ* de dureza superficial por meio do durómetro *Shore A* são bastante distintos. A zona 1 adquire valores próximos das argamassas de referência, por outro lado, a zona 2 obtém valores superiores ao melhor resultado obtido nos ensaios laboratoriais.

À semelhança dos resultados obtidos em 5.3.3, também nos ensaio *in-situ* os valores dos dois ensaios de dureza superficial obtêm resultados semelhantes. Na zona 2, os valores de dureza superficial são 22,5 graus Vickers superiores aos da zona 1.

Na Figura 5.10 apresentam-se os resultados obtidos para ambos em ensaio nas duas zonas ensaiadas.

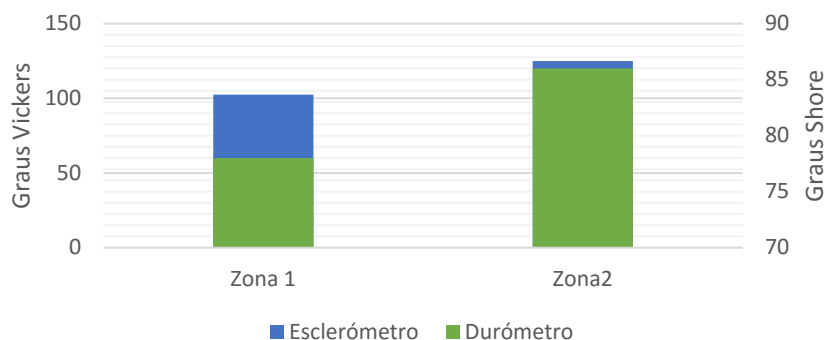


Figura 5.10 – Dureza superficial Durómetro *Shore* A e Esclerómetro pendular

5.5 Aferição da melhor solução

Após a realização dos ensaios e da análise dos resultados obtidos foi elaborada a Tabela 5.3 de modo a facilmente se comparar os resultados entre consolidantes e a referência. Para a escolha da melhor opção foi tido em conta os parâmetros de alteração visual e mecânicos que cada consolidante introduzia nos provetes. Dada a natureza da obra ser a conservação do Mural “Evocação a Fernão Mendes Pinto” é fundamental que o consolidante não altere em demasia as suas características e tenha ainda a capacidade de restabelecer algumas das características iniciais, nomeadamente a nível da coesão superficial e coordenadas colorimétricas.

A nível de alteração cromática, a formulação NE é a que apresenta melhores resultados com uma variação total da cor de 2,15 e 1,24 unidades para o cimento Portland cinzento e branco respectivamente. A mistura NR+NE aproxima-se bastante dos valores obtidos pela formulação NE para os provetes de cimento cinzento, contudo os valores do cimento branco são bastante elevados, aproximando-se das 10 unidades.

A formulação NE alterou em aproximadamente 5 vezes a permeabilidade de ambas as argamassas, isto é o valor inicial de $4,30 \text{ kg.m}^{-2}.\text{min}^{-0,5}$ e $4,96 \text{ kg.m}^{-2}.\text{min}^{-0,5}$ alterou-se para $0,92 \text{ kg.m}^{-2}.\text{min}^{-0,5}$ e $0,88 \text{ kg.m}^{-2}.\text{min}^{-0,5}$ para as argamassas de cimento Portland cinzento e branco respectivamente. Este resultado foi o melhor entre as restantes formulações, sendo que a NR+NE foi a que teve menor capacidade de alterar a permeabilidade dos provetes para o cimento cinzento.

Nos ensaios de dureza superficial, tanto através do durómetro *Shore* A como do esclerómetro pendular, o consolidante NR+NE obteve os melhores resultados. O consolidante NE obteve valores bastante próximos do NR+NE com 1 grau *Shore* A de diferença para ambos os cimentos e 2 graus Vickers de diferença também para ambos os cimentos.

Quanto à coesão superficial, o consolidante NE apresentou a melhor capacidade de aumentar a coesão superficial dos provetes de ambas argamassas. Esta capacidade deve-se ao facto de este consolidante ter uma fraca capacidade de penetração e actuar na superfície da argamassa. O consolidante NR+NE obteve também resultados satisfatórios.

Por ultimo, no ensaio de resistência à abrasão, uma vez mais o consolidante NE obteve os melhores resultados sendo a diferença entre a massa arrancada do provete de referência e a do provete consolidado com NE de 1,694 g e 1,256 g.

Em suma, é possível concluir, que dadas as anomalias do mural e o objectivo de devolver ao mesmo as suas características iniciais, a melhor solução será a utilização do consolidante NanoEstel®. Esta solução não introduz variações colorimétricas significativas nos provetes e ao mesmo tempo tem a capacidade de devolver a coesão superficial necessária para mitigar a anomalia mais predominante no mural.

Tabela 5.3 - Síntese dos resultados obtidos nos ensaios das argamassas consolidadas (Média e Desvio-padrão)

Consolidante	Colorímetro [ΔE]		Absorção de água [kg.m ⁻² .min ^{-0,5}]		Durómetro Shore A [Graus Shore A]		Esclerómetro Pendular [Graus Vickers]		Coesão superficial [g]		Resistência à abrasão [g]	
	CC	CB	CC	CB	CC	CB	CC	CB	CC	CB	CC	CB
NE	2,15 ± 1,06	1,24 ± 0,71	0,92 ± 0,01	0,88 ± 0,04	81,0 ± 3,9	79,0 ± 3,7	36,0 ± 0,5	35,0 ± 0,5	0,013 ± 0,001	0,021 ± 0,006	0,158 ± 0,041	0,187 ± 0,010
NR	4,12 ± 1,76	7,38 ± 6,22	1,84 ± 0,64	3,27 ± 0,64	78,0 ± 3,1	76,0 ± 3,5	30,0 ± 0,5	30,0 ± 0,6	0,052 ± 0,007	0,080 ± 0,031	1,270 ± 0,126	1,139 ± 0,102
NR+NE	2,47 ± 0,89	9,5 ± 4,23	4,45 ± 0,17	2,25 ± 0,01	82,0 ± 2,9	80,0 ± 2,7	38,0 ± 0,6	37,0 ± 0,6	0,038 ± 0,002	0,042 ± 0,006	0,741 ± 0,028	0,564 ± 0,079
CTRL	–	–	4,30 ± 0,85	4,96 ± 0,73	75,0 ± 4,1	73,5 ± 3,1	22,5 ± 0,4	20,5 ± 0,4	0,141 ± 0,005	0,121 ± 0,018	1,852 ± 0,024	1,443 ± 0,297

Tabela 5.4 – Resumo dos ensaios com respectiva melhor solução

Ensaio	Melhor solução	Notas
Avaliação colorimétrica	NE	Introduz um ligeiro brilho nos provetes
Tubos de Karsten	NE	Obtém os valores mais próximos dos valores do mural
Durómetro <i>Shore A</i>	NR+NE	-
Esclerómetro pendular	NR+NE	-
Coesão superficial	NE	-
Resistência à abrasão	NE	-

5.6 Resultados obtidos nos ensaios realizados em argamassas consolidadas pigmentadas

Após a análise de todos os dados obtidos nos ensaios realizados em laboratório e *in-situ*, concluiu-se que a melhor solução a aplicar nos provetes pigmentados seria o consolidante NanoEstel®. Neste sub-capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados nos provetes pigmentados com Vermelho Bayer e Ocre Alvalade. Todos os ensaios foram realizados 28 dias a aplicação dos consolidantes. As condições de cura foram as mesmas que as aplicadas nos provetes anteriores.

5.6.1 Avaliação colorimétrica

A avaliação colorimétrica nos provetes pigmentados foi realizada aos 0 dias de envelhecimento natural, isto é, 48 horas após a aplicação do pigmento nos provetes, aos 8 e 28 dias e posteriormente analisou-se 28 dias após a consolidação de modo a avaliar a recuperação da cor. A formulação utilizada nos provetes para a avaliação colorimétrica foi a seguinte: **PigmentoNº do provete_zona**

— Avaliação colorimétrica dos provetes pigmentados com Ocre Alvalade

De modo a avaliação da cor amarela ser a mais correcta possível, a coordenada b^* e L^* foram analisadas. Desta forma, quanto mais positiva for a coordenada b^* , mais amarelo se tornará o provete, contudo a coordenada L^* deverá também ser analisada em conjunto com a b^* , pois quanto maior for o valor de L^* mais claro será o provete, o que poderá indicar desgaste da cor.

Pela análise da Figura 5.13 e Figura 5.14, é possível verificar que aos 8 dias de envelhecimento natural existe na maioria dos provetes mensurados, uma ligeira subida do valor da coordenada b^* . Caso a análise tivesse sido efectuada apenas à coordenada b^* , poder-se-ia concluir que o provete teria ficado mais amarelo, contudo, analisando a coordenada L^* , é visível que esta coordenada aumenta em quase 20 unidades o seu valor em todos os provetes. Este aumento de valor indica que houve um clareamento substancial do provete, o que significa um desgaste do mesmo. Aos 28 dias é possível verificar que existe uma queda abrupta da coordenada b^* , sendo que o diferencial maior acontece na zona 1 do provete 2, com o valor de 12 unidades. Esta disparidade de valores com o ligeiro aumento da coordenada L^* em grande parte dos provetes indica que houve uma percentagem elevada de variação da cor. Esta variação da cor pode ser comprovada com a análise da Figura 5.15, em que se verifica que houve variações colorimétricas totais na ordem das 20 unidades aos 28 dias.

A Figura 5.11 e Figura 5.12 representam a evolução cromática dos provetes. Em primeira instância existe uma degradação (Figura 5.11a para b)) e posteriormente uma recuperação (Figura 5.11c). Na segunda figura compara um provete com 28 dias de envelhecimento natural e um provete 28 dias após o tratamento com o produto consolidante.



Figura 5.11 – a) Cor original (OA_0); b) Cor 28 dias após envelhecimento natural (OA_28); c) Cor 28 dias após consolidação (NE_OA)

De modo a avaliação ser correcta, foram mensurados os provetes NE_OA5 e NE_OA6. Esta escolha deveu-se ao facto de os provetes NE_OA1 e _NEOA2 serem de controlo e os provetes 3 e 4 não se apresentarem em condições de serem ensaiados.



Figura 5.12 – À esquerda provete com 28 dias após consolidação; à direita provete de controlo

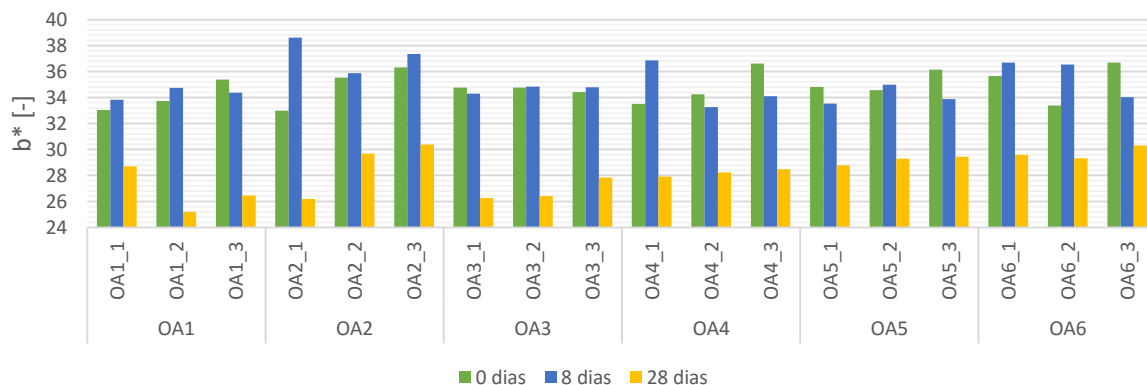


Figura 5.13 – Variação da coordenada b^* aos 0, 8 e 28 dias de envelhecimento natural Ocre Alvalade

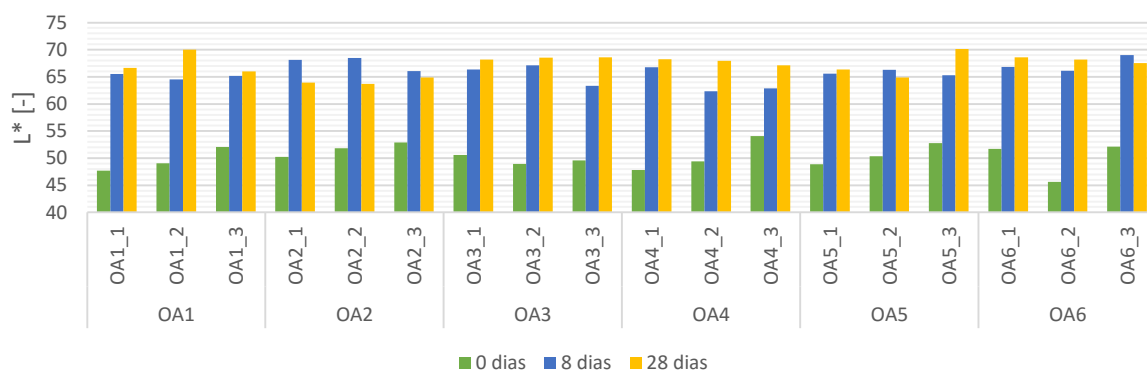


Figura 5.14 – Variação da coordenada L^* aos 0, 8 e 28 dias de envelhecimento natural

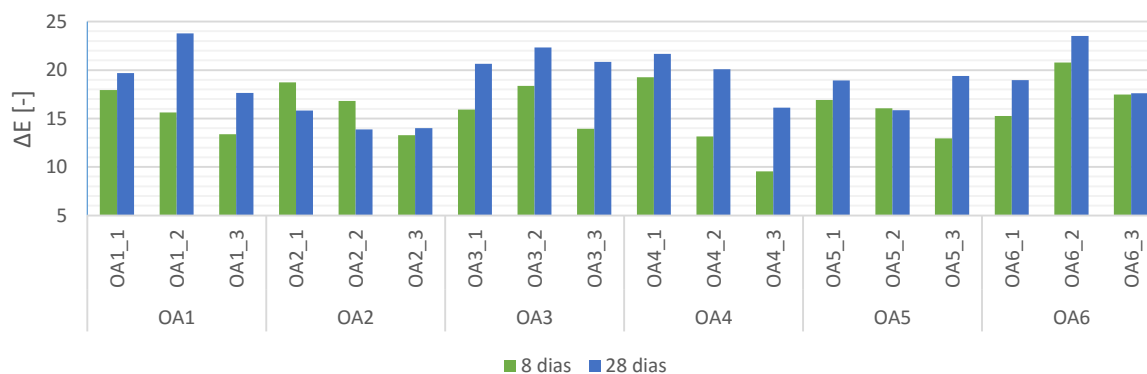


Figura 5.15 – Variação total da cor ΔE dos provetes pigmentados com Ocre Alvalade

A Figura 5.16 e Figura 5.17 apresentam os resultados mais interessantes a nível de recuperação da cor pois analisam a cor inicial 0 (OA_0 dias), a cor 28 dias após envelhecimento (OA_28 dias) e por último, 28 dias após aplicação do consolidante sendo representada como **NE_Pigmento**, neste caso NE_OA. Através destas figuras é possível verificar que a coordenada inicial b^* se encontrava na ordem das 34 unidades e L^* na ordem das 50 unidades. Após os 28 dias de envelhecimento, como já analisado anteriormente, houve uma queda abrupta nestes valores e após 28 dias de aplicação do consolidante é notória a recuperação da coordenada b^* , assumindo valores muito semelhantes aos iniciais, passando-se o mesmo com a coordenada L^* . Esta recuperação pode dever-se ao facto de na altura da consolidação ainda haver pigmento acumulado no provete, e ao aplicar-se o consolidante, houve uma redistribuição do pigmento pela superfície, recuperando a homogeneidade da cor. O pior resultado foi obtido na zona 3 do provete OA5, contudo, de um modo geral houve recuperação praticamente total das coordenadas iniciais.

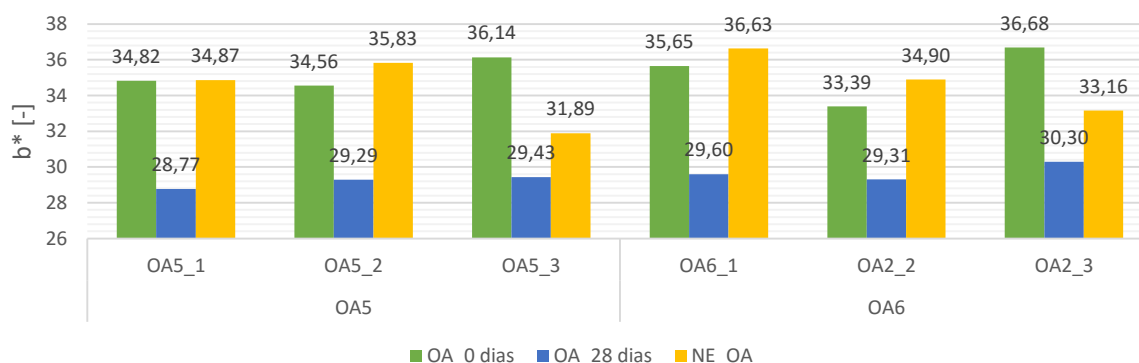


Figura 5.16 – Recuperação da coordenada b^* com aplicação do consolidante NanoEstel®

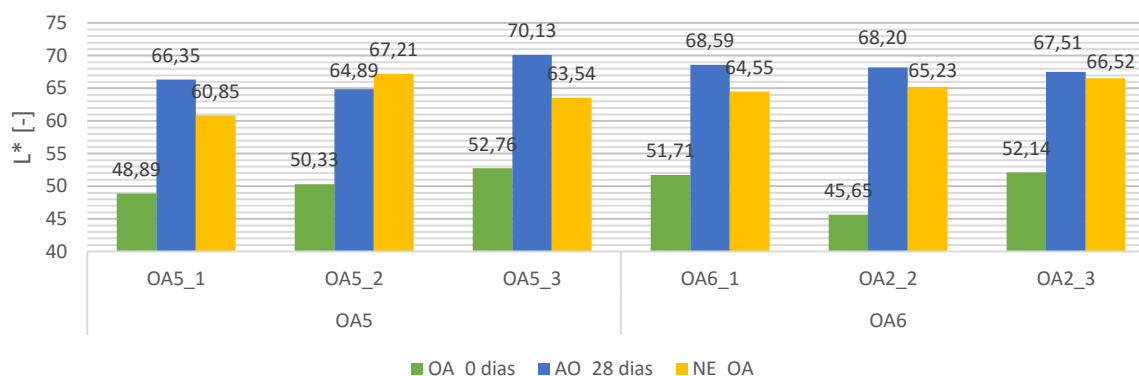


Figura 5.17 – Recuperação da coordenada L^* com a aplicação do consolidante NanoEstel® Ocre Alvalade

— Avaliação colorimétrica dos provetes pigmentados com Vermelho Bayer

A análise efectuada às coordenadas colorimétricas dos provetes pigmentados com Vermelho Bayer seguiram a mesma lógica que as dos provetes pigmentados com Ocre Alvalade, no entanto as coordenadas registadas foram L^* e a^* .

Através da análise das coordenadas a^* e L^* é perceptível que a cor inicial dos provetes pigmentados com Vermelho Bayer é um *bordeaux* escuro, facto evidenciado através da análise da Figura 5.20 e Figura 5.21, que apresenta um baixo valor da coordenada a^* , aproximadamente 18 e 19 unidades

para os 0 dias de envelhecimento e também da sua coordenada L^* que apresenta valores entre os 25 e 29 unidades. Aos 8 dias existe uma subida da coordenada a^* e L^* para todos os provetes o que significa que houve um clareamento dos provetes devido ao desgaste do envelhecimento natural. Aos 28 dias de envelhecimento natural a coordenada a^* baixa o seu valor na maioria dos provetes, contudo a coordenada L^* sobe, o que significa que continua a haver desgaste efeito da acção de envelhecimento natural dos provetes.

À semelhança dos provetes OA, Figura 5.18 e Figura 5.19 representam a evolução cromática dos provetes. Em primeira instância existe uma degradação (Figura 5.18a para b)) e posteriormente uma recuperação (Figura 5.18c). Na segunda figura compara um provete com 28 dias de envelhecimento natural e um provete 28 dias após o tratamento com o produto consolidante. Na Figura 5.19 é possível verificar o ligeiro brilho que o consolidante NE introduz nos provetes tratados.

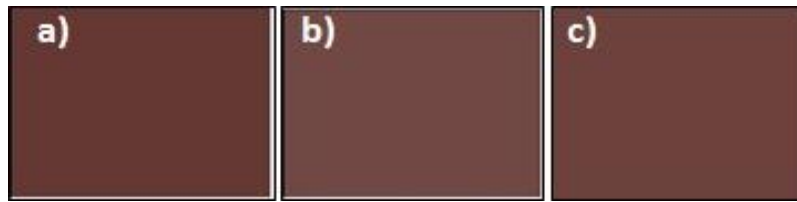


Figura 5.18 – a) Cor original (VB_0); b) Cor com 28 dias de envelhecimento natural (VB_28); c) Cor 28 dias após consolidação (NE_VB)



Figura 5.19 – À esquerda provete com 28 dias após consolidação; à direita provete de referência com 28 dias de envelhecimento natural

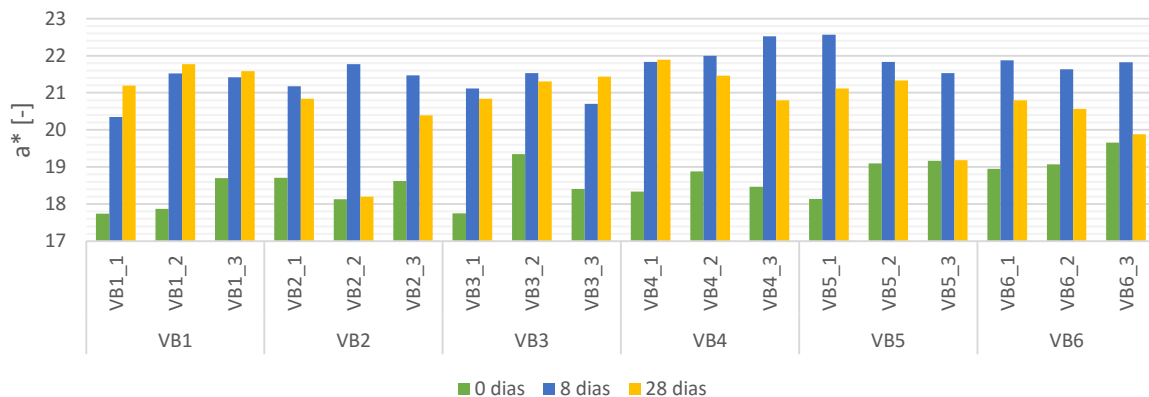


Figura 5.20 – Variação da coordenada a^* aos 0, 8 e 28 dias de envelhecimento natural

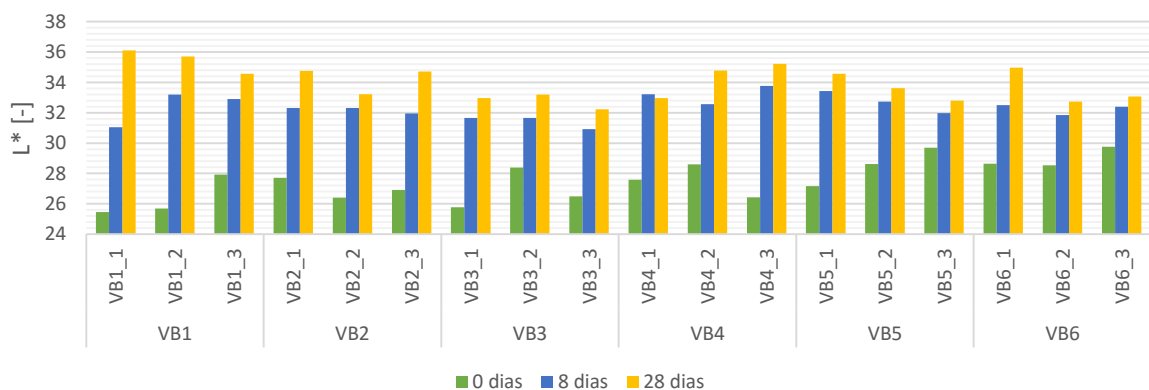


Figura 5.21 – Variação da coordenada L^* aos 0, 8 e 28 dias de envelhecimento natural Vermelho Bayer

De salientar que os provetes pigmentados com o ocre Vermelho Bayer não apresentaram um desgaste tão evidenciado como os provetes pigmentados com o Ocre Alvalade. Sendo que os provetes estiveram expostos às mesmas condições e foram pigmentados com a mesma concentração, a única explicação será o facto de a olho nu não se evidenciar diferenças tão notórias por a cor ser mais forte que o amarelo. Contudo pela análise da Figura 5.22 verifica-se a existência da variação total da cor na casa das 6 unidades para os 8 dias e 11 de valor máximo para os 28 dias de envelhecimento natural. Estas variações já são visíveis ao olho humano, contudo comparando com as variações totais do Ocre Alvalade que são de 20 unidades, são relativamente baixas.

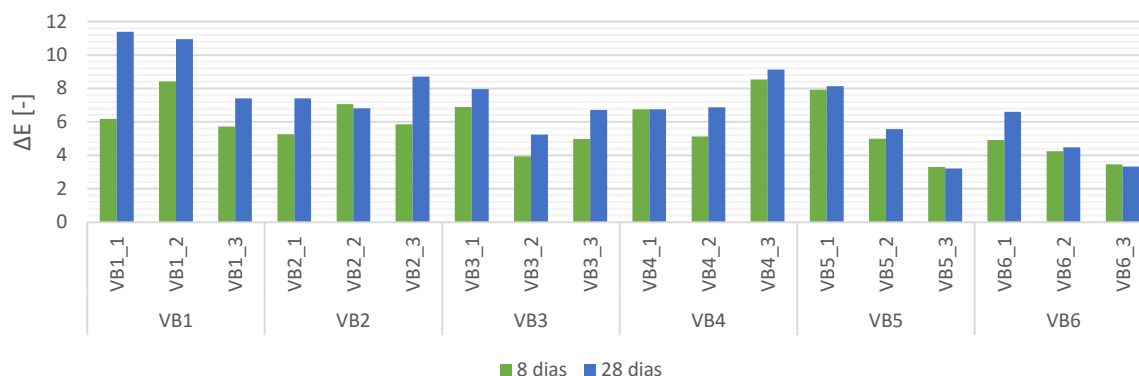


Figura 5.22 – Variação total da cor ΔE dos provetes pigmentados com Vermelho Bayer

Pelos mesmos motivos que os provetes OA foram mensurados os provetes VB_3 e VB_5 para avaliar a recuperação da cor. A Figura 5.23 e a Figura 5.24 avaliam a recuperação da cor após a consolidação dos provetes. À semelhança dos provetes pigmentados com Ocre Alvalade, houve em primeira instância um envelhecimento natural, sendo que primeiro foram registadas as coordenadas iniciais com idade 0 e posteriormente aos 28 dias. À idade de referência, 0 dias, a coordenada a^* registava valores na ordem dos 18 e 19 unidades. Posterior aos 28 dias de envelhecimento, esse valor subiu para as 21 unidades, esta subida indica que os provetes registaram uma alteração cromática de um *bordeaux* bastante escuro para uma cor mais clara. Os valores de L^* iniciais eram bastante baixos, na ordem dos 25 e 29 unidades, o que demonstra que a luminosidade do provete era bastante baixa. Contudo após os 28 dias de envelhecimento esse valor subiu na maioria dos provetes para os 33 e 34 unidades. Após a consolidação, é verificável pela análise do gráfico, NE_VB, que houve uma recuperação dos valores iniciais, isto é, a coordenada a^* voltou às 19 unidades, contrariamente às 21 unidades dos 28 dias de envelhecimento. A coordenada L^* baixou também significativamente o seu valor, para as 29 unidades, um valor ainda assim acima do registado inicialmente.

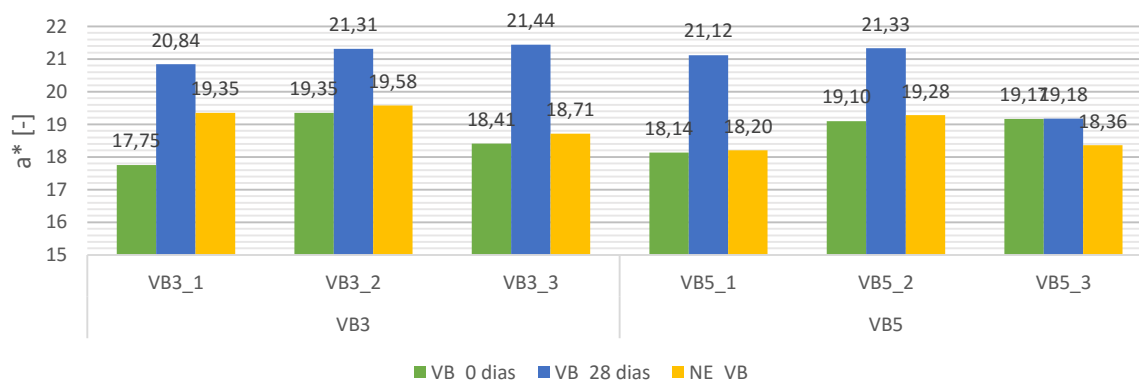


Figura 5.23 – Recuperação da coordenada a^* com aplicação do consolidante NanoEstel®

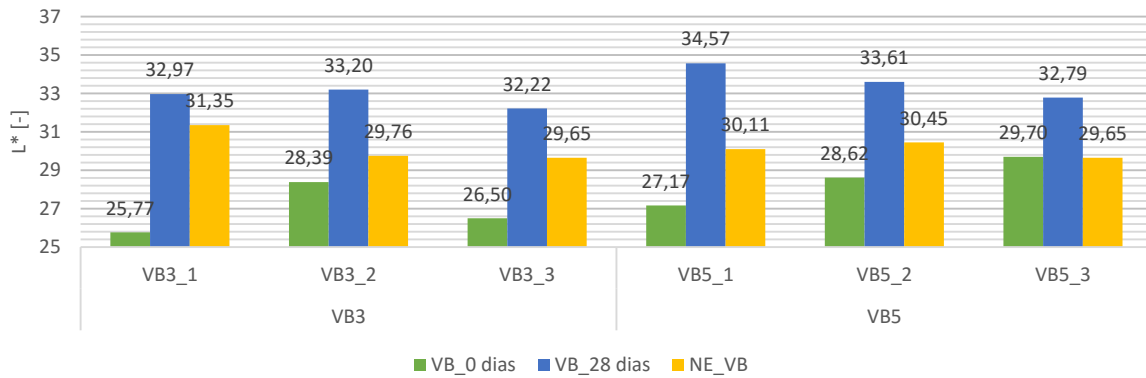


Figura 5.24 – Recuperação da coordenada L* com aplicação do consolidante NanoEstel® Vermelho Bayer

5.6.2 Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten

Seria expectável que os resultados deste ensaio fossem semelhantes aos obtidos em 5.3.2 pelos provetes de argamassa não pigmentados, isto é, que os provetes consolidados com NE obtivesse resultados bastante mais baixos de CA que os provetes de referência. Pela análise da Figura 5.25, verifica-se que o NE nos provetes pigmentados não alterou significativamente a permeabilidade, obtendo valores superiores às argamassas de referência, sendo contudo, uma diferença residual. De salientar que após a cura do consolidante, verificou-se que dois provetes apresentavam ligeiras fissurações na sua superfície. Esta fissuração deve-se ao facto de o NE após secar poder apresentar uma pequena película cristalina na superfície. A água terá tendência a percorrer certos caminhos preferenciais, caminhos esses que neste caso, serão as microfissuras. É importante referir também que, quando foi aplicado o pigmento, e como já explicado anteriormente, o mesmo continha um fixador, neste caso cimento branco. A presença deste ligante na mistura do pigmento confere à superfície do provete alguma impermeabilidade, sendo então natural que os provetes de referência pigmentados apresentem valores bastante mais baixos do que os não pigmentados.

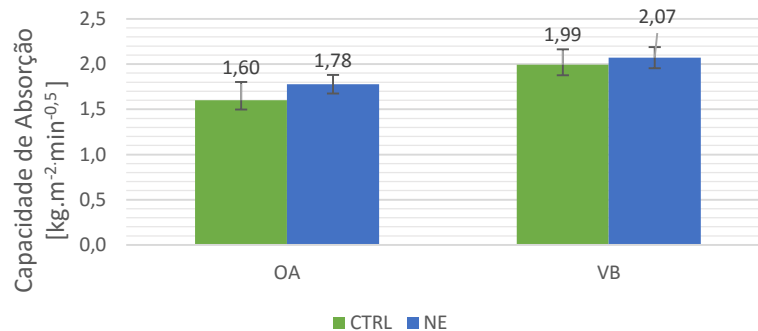


Figura 5.25 – Absorção de água sob baixa pressão – Tubos de Karsten – argamassas pigmentadas

5.6.3 Dureza superficial – Durómetro Shore A e esclerómetro pendular

À semelhança dos resultados obtidos nos provetes de argamassa não pigmentados, o consolidante NE apresentou resultados bastantes satisfatórios no incremento de dureza. A diferença entre os provetes de referência e os consolidados são de 9 graus Shore para o pigmento Ocre Alvalade e 8 graus Shore para o Vermelho Bayer. O consolidante utilizado obteve resultados superiores aos obtidos nos provetes não pigmentados. A justificação para estes resultados baseia-se uma vez mais na utilização de um fixador no pigmento que confere uma maior homogeneidade e dureza na superfície. Em comparação com as argamassas de referência não pigmentadas, os provetes pigmentados adquirem uma dureza de 2 a 4 graus Shore superior às primeiras. Conclui-se então que a utilização do NE em argamassas pigmentadas conseguirá um incremento de dureza bastante satisfatório.

Em relação ao segundo ensaio de dureza superficial, os resultados por meio do esclerómetro pendular foram bastante similares aos obtidos pelo durómetro. Ambos pigmentos consolidados com NE obtiveram resultados bastante superiores às argamassas de referência, com 16 graus Vickers de diferença para o Ocre Amarelo e 10,5 graus Vickers para o Vermelho Bayer. Estes resultados coincidem também com os obtidos para as argamassas não pigmentadas em que o consolidante NE obteve valores na ordem dos 36 graus Vickers.

Ambos os resultados são apresentados na Figura 5.26.

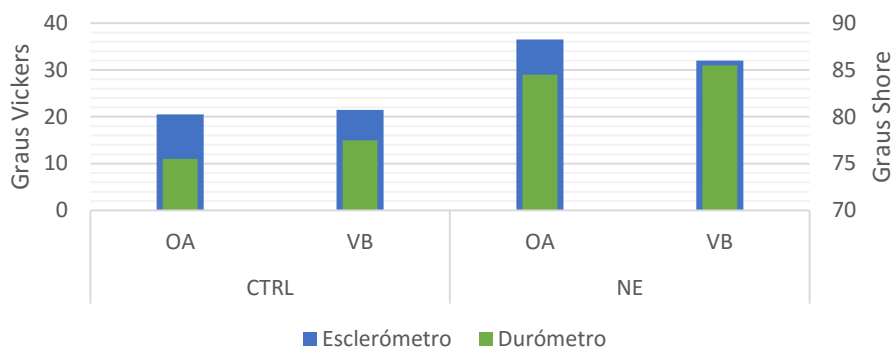


Figura 5.26 – Dureza superficial por Durómetro *Shore* A e Esclerómetro pendular

5.6.4 Coesão superficial e resistência à abrasão

Através da análise dos resultados obtidos por este ensaio, é possível verificar se o consolidante NE tem nas suas características, a capacidade

de fixar o pigmento à argamassa. Pela análise da Figura 5.28 é possível verificar que o consolidante NE tem uma grande capacidade agregadora das partículas de pigmento. Inicialmente, e como demonstra a Figura 5.27, o pigmento libertava-se do provete com bastante facilidade, apesar do uso de fixador. O pigmento tem a mesma facilidade em se desagregar no mural pelo que é imperativo que o consolidante usado tenha uma boa capacidade de fixação. Os resultados demonstram que houve uma grande capacidade do consolidante em induzir coesão superficial no pigmento. A diferença de resultados assume valores de 0,056 g para o Ocre Alvalade e 0,042 g para o Vermelho Bayer. Esta evolução representa um aumento de coesão superficial de 12 e 6 vezes para cada um dos pigmentos. Pode-se então assumir que este consolidante, dadas as suas características, actua de uma maneira efectiva na superfície do provete.

Também pela análise da Figura 5.28, denota-se um decréscimo acentuado na massa perdida pelo provete após a consolidação com NE. Os presentes resultados encontram-se em concordância com os já obtidos em 5.3.5. Os provetes de referência perderam 1,131 g e 1,311 g para o Ocre Alvalade e Vermelho Bayer. O diferencial entre estes e os provetes consolidados foi de 0,885 e 1,287 respectivamente. Comparativamente aos resultados obtidos em 5.3.5, o NE apresenta valores um pouco mais elevados para os provetes pigmentados, com um diferencial de aproximadamente 0,100 g, o que é natural dado que se encontra mais material friável, nomeadamente pigmento e o cimento branco utilizado como fixador, na superfície do provete.



Figura 5.27 – a) Fita-cola com pigmento pré-consolidação; b) Resíduo de pigmento de provete não consolidado; c) Resíduo de pigmento após consolidação

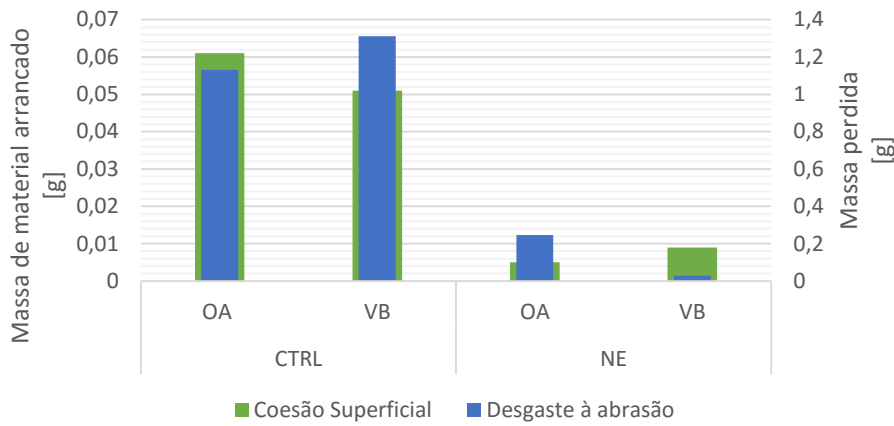


Figura 5.28 – Perdas de massa por coesão superficial e resistência à abrasão

5.6.5 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado de modo a estudar o comportamento das argamassas à presença da água, dado que no tardo do mural existe um terreno ajardinado com constante presença de água. Desta forma, foi possível traçar as curvas de capilaridade e avaliar a rapidez com que os provetes absorviam água (CC) e também a sua capacidade máxima de absorção de água por unidade de área (VA).

Através da análise da Figura 5.29 é perceptível o andamento das curvas de absorção de água assim como a sua fase inicial que indica a rapidez de absorção. Os valores ideais destes parâmetros seriam valores baixos, ou seja, quanto mais baixo fosse o VA, significaria que a argamassa tinha pouca capacidade de absorção de água, por outro lado, um valor baixo de CC, ou seja a velocidade inicial com que a argamassa absorve água, indica que existe uma resistência à absorção. Também através da análise da mesma figura, é notório que não existe diferenças significativas entre as curvas, ou seja, quer as argamassas de referência como as argamassas consolidadas apresentam o mesmo comportamento face ao que à capacidade de absorção diz respeito. Contudo em relação à velocidade de absorção de água, denota-se que, as argamassas consolidadas são ligeiramente mais rápidas a absorver água, com aproximadamente uma diferença de $0,5 \text{ kg.m}^{-2}$. Os valores semelhantes eram expectáveis dado que a capacidade de absorção de água está directamente relacionado com a porosidade da argamassa e também porque a superfície de contacto com a lâmina de água foi o tardo do provete, que não tinha qualquer tipo de tratamento.

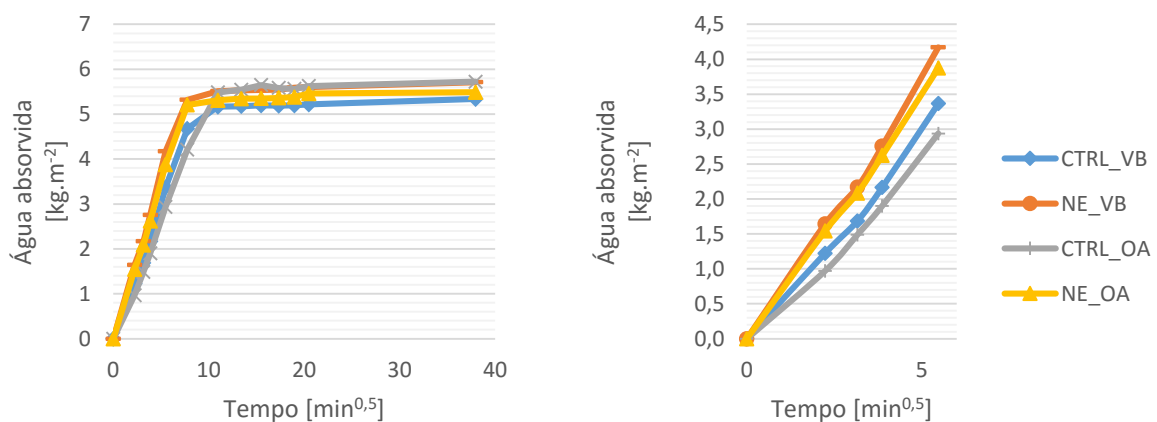


Figura 5.29 – Curvas de capilaridade e primeiros 30 minutos de absorção de água por capilaridade

De modo a haver mais detalhe na avaliação do comportamento das argamassas na presença da água, na Figura 5.30 apresenta-se os valores do CC e do VA. Através da análise desta figura é possível concluir que o CC de ambas as argamassas de controlo é inferior ao das argamassas consolidadas com NE. Por outro lado, os valores de VA apresentam-se bastante próximos, tanto das argamassas de referência como das consolidadas. Estes valores de CC mais baixos indicam que a água entra na argamassa duma maneira mais lenta, o que é considerado um bom comportamento à presença da água. Por outro lado, os valores mais elevados de CC das argamassas tratadas com o consolidante NE é algo que revela um pior comportamento face à presença da água.

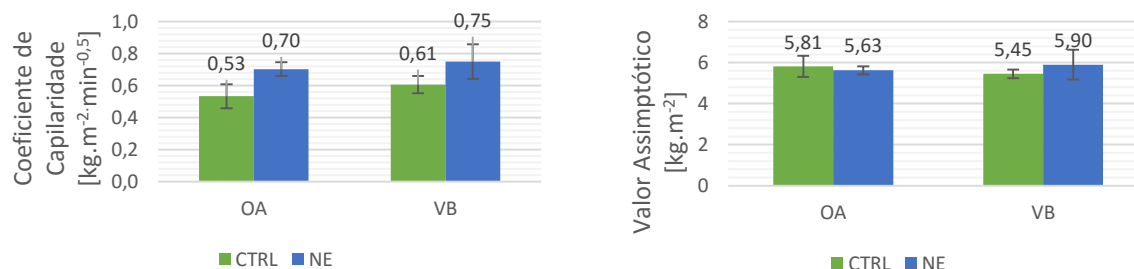


Figura 5.30 – Coeficiente de capilaridade e Valor assíntótico

5.6.6 Secagem unidireccional

Através do ensaio de secagem foi possível estudar o comportamento da argamassa de cimento Portland branco face à presença da água.

Da análise é possível concluir os resultados para a Taxa de Secagem (TS) que corresponde à velocidade inicial de secagem da argamassa e também o Índice de Secagem (IS) que corresponde à evolução global da secagem.

A Figura 5.31 que corresponde ao gráfico da quantidade água absorvida por unidade de área pelo tempo em horas permite concluir o valor da Taxa de Secagem (TS1). Este valor corresponde à velocidade da primeira fase de secagem. Por outro lado, a Figura 5.32 permite calcular a Taxa de Secagem da segunda fase (TS2), ou seja, a velocidade da segunda fase de secagem. Idealmente, ambos os valores serão altos, pois corresponderá a uma secagem rápida da superfície da argamassa, sendo natural que com o avançar do tempo a velocidade diminua, pois, a frente húmida recua e o caminho a percorrer pelo vapor de água é cada vez maior.

Pelo contrário, o valor do IS convém ser baixo, sendo que valores mais baixos desta variável indicam que não existe qualquer tipo de “resistência” à evaporação da água. Analisando tanto a Figura 5.31 como Figura 5.32

é possível verificar que quer as argamassas tratadas com consolidante NE como as argamassas de referência obtêm valores muito semelhantes. Valores semelhantes para a argamassas são óptimos porque indicam que apesar da aplicação do consolidante, o mesmo não representa uma “barreira” à evaporação da água.

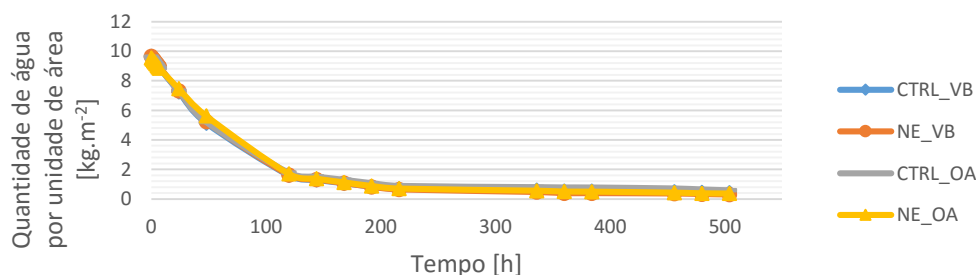


Figura 5.31 – Curva da primeira fase de secagem

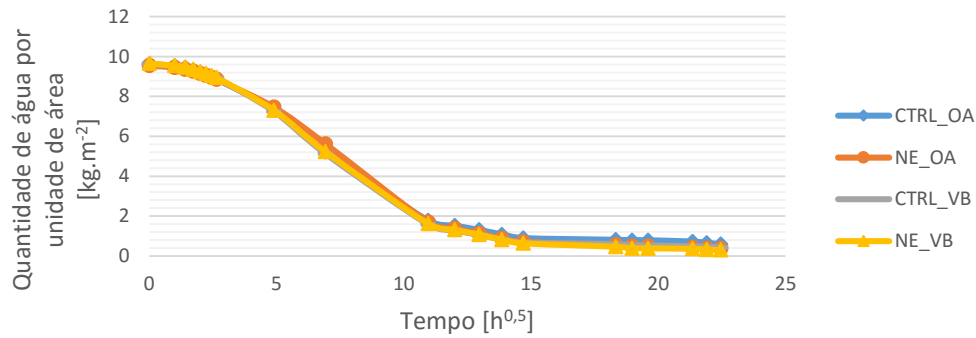


Figura 5.32 – Curva da segunda fase de secagem

A Figura 5.33 compara os valores obtidos entre TS1, TS2 e IS. Analisando, é possível verificar que os valores de TS1 e TS2 são mais elevados que os de IS para ambos os pigmentos, sendo ambos os valores bastante semelhantes aos obtidos pelas argamassas de referência. Para o consolidante VB denota-se que existe uma ligeira descida do valor de TS1 em comparação com a argamassa de referência, contudo o valor de TS2 sobe ligeiramente.

Os valores de IS são bastante semelhantes o que permite concluir resultados bastante satisfatórios, porque indica que o consolidante não influenciou o comportamento global da argamassa face à secagem da água. Para o pigmento OA, os valores mais elevados de TS1 e TS2 verificam-se nos provetes com tratamento observando-se também um valor de IS mais baixo.

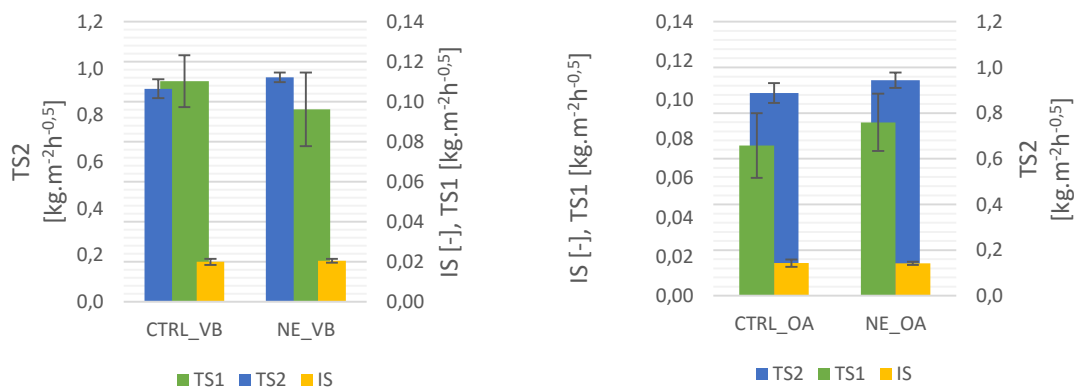


Figura 5.33 – Comparação entre IS, TS1 e TS2 para os pigmentos OA e VB

É interessante também comparar-se os valores de IS e de CA (obtido em 5.6.2) pois desta forma é possível perceber a influência que o consolidante tem de uma maneira geral no comportamento da argamassa face à presença da água. Pela análise da Figura 5.34 e como já referido anteriormente, o comportamento global da secagem da argamassa não é influenciado pela aplicação do consolidante. Por outro lado, o CA é ligeiramente mais elevado nas argamassas com consolidante, contudo os valores de diferença são residuais e encontram-se na margem de erro como já analisado no capítulo 5.6.2. A comparação destes valores indica que o consolidante tem a capacidade de tornar a superfície mais impermeável, ou seja a água tem maior dificuldade em entrar na superfície da argamassa que se encontra tratada, mas contudo, na eventualidade de entrar pelo tardo ou por uma fenda na superfície tratada, o IS indica que a argamassa terá um bom comportamento face à secagem, e a água não ficará retida no interior, o que poderia causar inúmeras anomalias e agravar as já existentes.

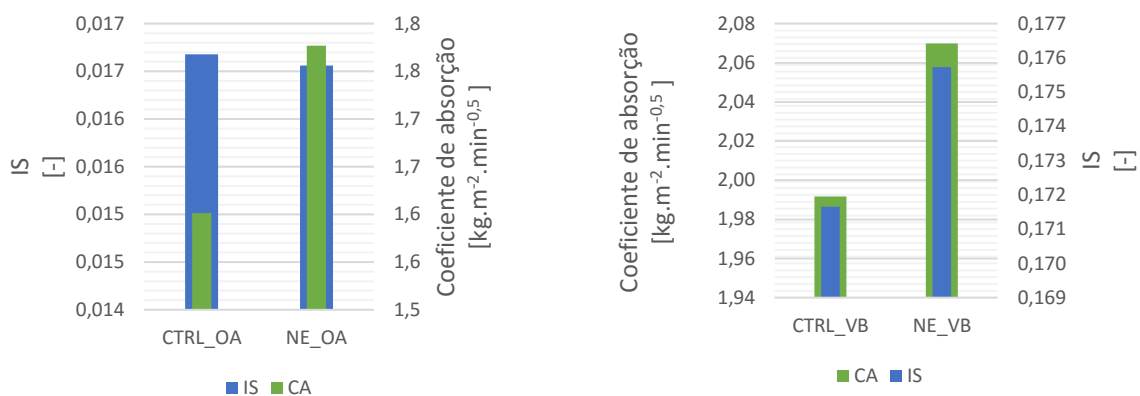


Figura 5.34 – Comparação entre IS e CA para os pigmentos OA e VB

6. CONCLUSÃO

6.1 Conclusões finais

A perda de coesão em argamassas é uma das muitas anomalias deste tipo de suportes. Esta perda de coesão está associada essencialmente a dois factores: (i) intrínsecos como o tipo de agregado, a relação entre ligante e agregado e ligante e quantidade de água e até mesmo a técnica de aplicação da argamassa; (ii) factores extrínsecos, como humidade, poluição, solicitações mecânicas de choque, vandalismo, erosão e também ataques biológicos. De maneira a mitigar esta anomalia, existem no mercado inúmeros produtos consolidantes que actuam e modificam a estrutura da argamassa de maneira diferente. Cabe ao Técnico responsável escolher o que mais se adequa, de modo que o tratamento seja eficiente mas que a compatibilidade não fique comprometida, quer dizer, que a sua aplicação não altere significativamente as características mecânicas e físicas das superfícies, pois dessa forma comprometer-se-ia o equilíbrio e daí poderiam surgir mais ou piores anomalias.

Verificou-se que a perda de coesão era uma das anomalias mais importantes no mural “Evocação a Fernão Mendes Pinto”. O estudo desenvolvido nesta dissertação teve então como objectivo específico avaliar de que forma a aplicação de diferentes consolidantes alterava as características das argamassas artísticas aplicadas no mural. Foram avaliados, através de provetes que se pretendiam representativos, a sua capacidade de absorção de água por capilaridade e sob baixa pressão, o acréscimo de dureza superficial, a coesão superficial e a resistência ao desgaste por abrasão. Foram também realizados ensaios de modo a avaliar as alterações colorimétricas que os consolidantes introduziam nos provetes não pigmentados e pigmentados e, através de ciclos de capilaridade e secagem, foi avaliado de que modo as argamassas se comportavam na presença de água.

Terminada a dissertação, é possível concluir que os objectivos estabelecidos foram cumpridos. Com o presente estudo foi possível dar mais um contributo para um melhor conhecimento do comportamento das argamassas de cimento Portland face aos consolidantes nano-estruturados de cal e sílica. Foi possível também avaliar a alteração da cor após consolidação e de que forma o produto recuperava ou não as coordenadas colorimétricas dos pigmentos utilizados em pintura mural.

Os ensaios realizados em argamassas no estado fresco tiveram o intuito de que todas as amassaduras obtivessem as mesmas características. O ensaio de espalhamento permitiu concluir que ambas as argamassas tinham diâmetros de espalhamento médio bastante semelhantes, o que permite afirmar que, teoricamente, ambas as argamassas terão o mesmo nível de trabalhabilidade. Através do ensaio de teor em ar foi possível concluir que a argamassa de cimento Portland branco tem um menor índice de vazios, pois o seu valor é inferior comparativamente à argamassa de cimento Portland cinzento.

Foram realizados ensaios de validação dos provetes executados em laboratório, isto é, através do ensaio de porosidade aberta foi possível aferir o comportamento das amostras face à presença da água. O maior volume de poros está directamente relacionado com a maior capacidade de absorção de água por capilaridade e sob baixa pressão, pelo que era fulcral que as amostras retiradas do mural obtivessem resultados semelhantes aos dos provetes realizados em laboratório.

A avaliação das coordenadas colorimétricas foi crucial na escolha do produto consolidante para aplicar nos provetes pigmentados. Ao proceder à avaliação das coordenadas em provetes não pigmentados é possível ter uma ideia da influência do consolidante na variação cor.

Desta forma, para os provetes não pigmentados de cimento Portland cinzento e branco, procedeu-se ao registo da coordenada L^* , que rege a variação da cor de branco (100 unidades) até ao preto (0 unidades). A formulação NanoEstel® obteve resultados de variação desta coordenada com valores muito próximos de 0%, exceptuando um provete de cimento cinzento, que obteve uma variação desta coordenada de -4,4%.

No entanto, analisando a variação total da cor, ΔE , verifica-se que para os provetes de cimento Portland cinzento, o valor máximo atingido é de 3,65 unidades, o que segundo as referências citadas em capítulos anteriores, é um valor que não induz variações significativas e que possam ser visíveis a olho nu. Ainda para a formulação NanoEstel® mas para os provetes de cimento Portland branco, o valor máximo atingido da percentagem de variação da coordenada L^* foi de -1,1%, indicando que houve um escurecimento do provete. Uma vez mais, analisando a variação total da cor, verifica-se que para o cimento branco, o valor máximo atingido é de 2,29 unidades. Inversamente aos bons valores obtidos pela formulação NanoEstel®, o consolidante NanoRestore® apresenta os valores menos satisfatórios. A variação total da cor por parte desta formulação tem o seu valor mais elevado nos provetes de cimento branco, atingindo as 15 unidades. A formulação combinada dos consolidantes obteve resultados também muito pouco satisfatórios, bastante semelhantes aos obtidos pela formulação NanoRestore®.

O ensaio de absorção de água sob baixa pressão demonstrou que o consolidante NanoEstel® foi o que variou mais a capacidade de absorção de água dos provetes consolidados comparativamente aos de controlo. Esta formulação tornou a superfície da argamassa muito menos permeável à água líquida do que as restantes formulações. Esta variação é justificada com o facto de o NanoEstel® formar uma película homogénea na superfície, pois como a solução é aquosa, tem uma menor capacidade de penetração. Os resultados obtidos para ambos os cimentos são muito semelhantes, variando apenas em $0,04 \text{ kg.m}^{-2}.\text{min}^{-0,5}$. As restantes formulações, diminuíram a capacidade de absorção de água, no entanto, com resultados menos favoráveis que o NanoEstel®.

Após a aplicação do consolidante, em relação aos ensaios de dureza superficial, foi possível concluir que todas as formulações promovem um aumento desta característica. No ensaio de durómetro Shore A a formulação NR+NE obteve os resultados mais elevados, com cerca de mais 7 graus Shore comparativamente aos provetes de controlo. A formulação NanoEstel® obteve resultados bastante semelhantes, obtendo uma diferença de 1 grau Shore comparativamente à formulação NR+NE. Como já explicado anteriormente, a formulação NanoRestore® obteve piores resultados dado a sua pior capacidade em consolidar superficialmente as argamassas. O ensaio de esclerómetro pendular é semelhante ao ensaio de durómetro, com a diferença que este ensaio avalia a dureza superficial das camadas em maior espessura. Os resultados, contudo, foram concordantes com os de durómetro Shore A, sendo a formulação NR+NE a que obteve melhores resultados com um diferencial de 15,5 e 16,5 Graus Vickers comparativamente aos provetes de controlo para cimento Portland cinzento e branco respectivamente. Em concordância também com o ensaio anterior está a formulação NanoEstel® que obteve resultados semelhantes à formulação NR+NE e também a NR que obteve os piores resultados.

O ensaio de coesão superficial permitiu avaliar a capacidade dos consolidantes em restituir a consolidação superficial dos provetes. Neste ensaio a formulação NanoEstel® obteve os resultados mais satisfatórios, diminuindo o material arrancado em 0,128 e 0,100 g para os provetes de cimento cinzento e branco respectivamente. Esta melhoria substancial vem ao encontro do já referido anteriormente: o consolidante nano-estruturado de sílica tem uma grande capacidade em restituir a coesão superficial das argamassas, actuando à priori nas camadas superficiais dos provetes. A formulação NanoRestore® e NR+NE reduziram significativamente o material arrancado da superfície; contudo obtiveram resultados menos satisfatórios que o NanoEstel®.

O ensaio de resistência à abrasão permite concluir se a argamassa tem ou não capacidade de resistência às acções mecânicas de choque ou erosão. Uma vez mais a formulação NanoEstel® obteve os melhores resultados aumentando em cerca de 11 vezes a capacidade de resistência à abrasão das argamassas consolidadas com este produto.

A formulação NanoRestore® foi a que contribui menos para a resistência à abrasão, contribuindo apenas com um aumento de 46% e 26% para o cimento Portland cinzento e branco respectivamente. A formulação combinada, apesar de apresentar resultados mais satisfatórios comparativamente à formulação NanoRestore®, quando comparada com a primeira apresenta menor melhoria.

Analisando os ensaios realizados em argamassas não pigmentadas após 28 dias de consolidação, é possível concluir que, para mitigar a anomalia de falta de coesão superficial, o consolidante NanoEstel® é a melhor solução. Este consolidante tem a capacidade de restituir a coesão superficial presente nas argamassas, de diminuir a capacidade de absorção de água sob baixa pressão e também de induzir um incremento de resistência à abrasão nos provetes. Desta forma, considera-se que a melhor solução a aplicar para o presente caso de estudo é o NanoEstel®.

A avaliação colorimétrica dos provetes pigmentados foi realizada de maneira semelhante à dos provetes não pigmentados. Através desta avaliação foi possível perceber a variação da coordenada **b*** para os provetes pigmentados com Ocre Alvalade e a **a*** para os provetes pigmentados com Vermelho Bayer. Numa primeira fase, foram registadas as diferenças das coordenadas colorimétricas durante o envelhecimento natural, aos 0 dias, ou seja, 48 horas após a aplicação do consolidante, aos 8 dias de envelhecimento natural e por último, quando foram retirados da cobertura do edifício do DEC da FCT NOVA, com 28 dias de envelhecimento. De modo a verificar de que modo o consolidante influenciava a pigmentação foram registadas as coordenadas colorimétricas 28 dias após a aplicação do produto consolidante.

Analisando as coordenadas durante o envelhecimento natural é perceptível para os provetes com o pigmento OA que existe uma degradação da cor ao longo do tempo. Em primeira instância, a coordenada **b*** assume valores na ordem das 32 a 36 unidades e a **L*** de 45 a 50 unidades. Posteriormente, aos 8 dias de envelhecimento a coordenada **b*** sobe de valores, indicando que o pigmento “amarelou”; contudo a subida de valores da coordenada **L*** demonstra que o provete tornou-se mais claro, indicando sinais de desgaste. Aos 28 dias de envelhecimento os valores da coordenada **b*** caíram para valores próximos das 26 unidades e a coordenada **L*** manteve valores semelhantes aos obtidos com 8 dias de envelhecimento. Esta variação de valores indica que o provete sofreu um desgaste acentuado devido a estar exposto aos mais variados agentes atmosféricos. No caso dos provetes pigmentados com VB, a variação foi semelhante. As coordenadas **a*** e **L*** inicialmente assumiram valores bastante baixos, na ordem das 18 e 26 unidades respectivamente, indicando que a cor visível era um vermelho bastante escuro semelhante a *bordeaux*. A coordenada **a*** para a maioria dos casos aos 28 dias reduziu de valor comparativamente aos 8 dias; contudo a coordenada **L*** subiu sempre de valores, indicando um clareamento do provete que significa algum desgaste ou lavagem do pigmento.

Relativamente à recuperação da cor após a aplicação do produto NanoEstel®, para os provetes pigmentados com OA, a recuperação da coordenada **b*** foi total, assumindo valores bastante próximos dos registados inicialmente com 0 dias de envelhecimento natural. Relativamente à coordenada **L***, apesar de haver uma ligeira recuperação, os valores registados inicialmente eram significativamente mais baixos, o que indica que o provete não teve a capacidade de “escurecer” após a aplicação do produto. Em relação aos provetes pigmentados com o VB, a recuperação da cor após a consolidação também foi notória. A coordenada **a*** obteve valores próximos dos registados com 0 dias de envelhecimento para todos os provetes, excepto para a zona 1 do provete 3, que obteve uma diferença de aproximadamente 2 unidades. As restantes diferenças registam-se na casa das décimas. A coordenada **L***, seguiu o padrão já registado para os provetes pigmentados com OA, ou seja, o provete não teve a capacidade de “escurecer”, registando valores mais elevados.

Relativamente aos ensaios realizados nos provetes pigmentados, os resultados obtidos para os ensaios de absorção de água sob baixa pressão, ambos os de dureza superficial, coesão superficial e desgaste superficial, obtiveram resultados concordantes com os registados nos provetes não pigmentados.

É no entanto pertinente a análise do ensaio de coesão superficial, visto que previamente à aplicação do produto consolidante, ambos os pigmentos encontravam-se pouco fixos à superfície da argamassa, pulverizando-se apenas com passagem de um dedo, o que desgastava os provetes rapidamente. Após a aplicação do produto foi bastante significativa a melhoria neste aspecto, sendo que os pigmentos se fixaram completamente à superfície, registando valores muito baixos de massa arrancada da superfície.

Os ensaios de absorção de água por capilaridade e de secagem foram realizados de modo a analisar o comportamento dos provetes consolidados à presença da água. No ensaio de capilaridade, a influência do pigmento foi nula, dado que a absorção deu-se pelo tardo do provete, de modo a simular a presença de água proveniente do terreno no tardo do mural. Os valores do coeficiente de capilaridade e de valor assintótico para ambos os pigmentos foram semelhantes, e não muito superiores aos valores atingidos pelos provetes de controlo. Em relação ao ensaio de secagem, os resultados obtidos demonstraram que o consolidante NanoEstel® não tem impacto na evaporação da água da estrutura porosa da argamassa. Verifica-se que ambas as Taxas de Secagem (fases 1 e 2), para ambos os pigmentos, têm os seus valores elevados e muito próximos dos obtidos pelos provetes de controlo. O Índice de Secagem para ambos os pigmentos também assume valores baixos, bastante semelhantes aos obtidos pelos provetes de controlo. Estes valores de IS baixos indicam que não existe grande “resistência” à secagem da água que atinge a argamassa. Por último, comparando os valores de IS obtidos com os de Coeficiente de Absorção registados no ensaio de absorção de água sob baixa pressão, é possível concluir que o consolidante NanoEstel® forma uma barreira na superfície da argamassa, de modo a que a água proveniente da superfície (tratada) encontra dificuldade em entrar na estrutura porosa. Contudo, na face do tardo, a argamassa não foi tratada com consolidante, sendo esta uma zona bastante propícia à entrada de água. Assim verifica-se que, apesar de o NanoEstel® quando aplicado na superfície frontal formar uma barreira de impedimento à entrada de água, esta não se torna uma resistência à secagem, como foi possível verificar nos ensaios realizados

Conclui-se então que a aplicação do produto NanoEstel® na superfície das argamassas foi uma mais-valia, melhorando a coesão superficial, permitindo recuperar a cor, ao mesmo tempo que melhora a protecção da superfície, constituindo uma barreira à entrada da água proveniente da chuva. No entanto, não bloqueia a secagem, demonstrando assim ser um produto bastante eficaz.

6.2 Trabalhos futuros

Terminada a dissertação, considera-se fulcral prosseguir com estudos iniciados no trabalho. Apesar de se dar maior ênfase aos projectos de reabilitação de património construído que sejam elaborados com argamassas de cal, dado estas existirem em maior número, começam agora a surgir anomalias em projectos realizados com argamassas de cimento Portland, sendo então necessária a continuação da avaliação do comportamento destas argamassas quando sujeitas aos variados tratamentos de conservação. Desta forma sugerem-se os seguintes estudos:

- Avaliar a microestrutura da argamassa quando tratada com os diferentes consolidantes, nomeadamente pelo ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio, de maneira a avaliar a dimensão dos poros e a eventual influência dos consolidantes;
- Estudos que possibilitem a optimização do procedimento de aplicação dos produtos nano-estruturados e nomeadamente do NanoEstel® em revestimentos de valor artístico cimentícios;
- Realização de análise SEM/EDS de modo a haver uma percepção da estrutura da argamassa após a aplicação dos consolidantes, dos constituintes que se formam e da espessura de penetração;
- Estudo da absorção de água por capilaridade unidireccional e secagem nos provetes não pigmentados;
- Submeter os provetes a câmaras de envelhecimento artificial, para avaliar o comportamento do consolidante a mais longo prazo;
- Comparar resultados com provetes expostos em ambiente natural durante período mais prolongados que os conseguidos nesta dissertação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, J., Tavares, M., & Veiga, R. (2001).** Consolidação de revestimentos exteriores (Rebocos e barramentos) de edifícios antigos - reflexões para um plano de estudo. LNEC.
- ASTM (2000).** Standard test method for rubber property – durometer hardness. ASTM D2240-00. United States.
- ASTM (2008).** Standard test method for rebound hammer of hardened concrete. ASTM C805-08. United States.
- Azeiteiro, L. C., Velosa, A., Paiva, H., Mantas, P. Q., Ferreira, V. M., & Veiga, R. (2014).** Development of grouts for consolidation of old renders. *Construction and Building Materials*, 50, 352–360. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.006>
- Baglioni, P., Carrasco, V., & Cordeiro, M. (2014).** Maya mural paintings in Cal-akmul: pictorial technique and conservation. *Science and Art, the Painted Surface*. (p. 68). London: The Royal Society of Chemistry.
- Baglioni, P., Chelazzi, D., & Giorgi, R. (2012).** Nanotechnology in the conservation of Cultural Heritage - A compendium of materials and Techniques. Springer (Vol. XXXIII). New York: Springer. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Barberena-Fernandez, A. M., San Andrés-Moya, M., Carmona-Quiroga, P., & Blanco-Varela, M. T. (2014).** Nanosilica and Nanolime on the conservation of mortars and concretes of our heritage. *Science, Technology and Cultural Heritage*, 127–132.
- Barberena-Fernandez, M., Carmona-Quiroga, P., & Blanco, T. (2015).** Cement & Concrete Composites Interaction of TEOS with cementitious materials: Chemical and physical effects, 55, 145–152. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.09.010>
- Borsoi, G. (2013).** Effect of nanostructured lime-based and silica- based products on the consolidation of historical renders, 3rd Historic Mortars Conference, 11-14 September 2013, Glasgow, Scotland. <http://doi.org/10.13140/2.1.1988.9282>
- Borsoi, G., & Silva, A. S. (2013).** Consolidação de revestimentos históricos com produtos nano-estruturados à base de cal. Projecto LIMECONTECH. Jornadas LNEC 2012d, LNEC, 18-20 de Junho de 2012, Lisboa.
- Borsoi, G., Tavares, M., Veiga, R., & Silva, A. S. (2012).** Microstructural and physical-mechanical analyses of the performance of nanostructured and other compatible consolidation products for historical renders. *Materiali in Tehnologije*, 46 (3), 223–226. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.730-732.942>
- Borsoi, G., Veiga, M. do R., Faria, P., Pascoal, P., Margarida, M., & Pinto, J. P. (2013).** Consolidação e reintegração cromática de revestimentos históricos com materiais pozolânicos - Estudo da influência da adição de pigmento. Seminário projecto Limecontech. LNEC.
- Botelho, P. (2003).** Argamassas tradicionais em suportes de alvenaria antiga: comportamento em termos de aderência e durabilidade. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa.
- Brito, V., Gonçalves, T., & Faria, P. (2011).** Coatings applied on damp building substrates : performance and influence on moisture transport. *Journal of Coatings Technology and Research*, 8(4), 513–525. <http://doi.org/10.1007/s11998-010-9319-5>
- Calia, A., Masieri, M., Baldi, G., & Mazzotta, C. (2012).** The evaluation of nanosilica performance for consolidation treatment of an highly porous calcarenite. 12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone. New York: Columbia University (CD).

Canio, J. M. (1997). Patologia de cerramiento y acabados arquitectónicos. (Secunda). Madrid: Departamento de construccion y tecnologia arquitectónica - UPM Ed.Munilla-Leria.

Carmona-Quiroga, P. (2010). Estudio del comportamiento dos tratamientos antigraffiti como protectores de materiales de construcción: interacción antigraffiti-substrato, propiedades y durabilidad. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Geológicas.

Castillo, A., & Castellote, M. (2015). Cement and Concrete Research Characteristics and efficiency of photocatalytic cementitious materials: Type of binder, roughness and microstructure. Cement and Concrete Research, 71, 124–131. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.02.003>

CEN (1998a). EN 1015-6:1998. Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar. Brussels: CEN.

CEN (1998b). EN 1015-7:1998. Methods of test for mortar for masonry - Part 7: Determination of air content of fresh mortar. Brussels: CEN.

CEN (1998c). EN 1015-2:1998. Methods of test for mortar for masonry. Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars. Brussels: CEN.

CEN (1999). EN 1015-3:1999. Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). Brussels: CEN.

CEN (2002). EN 1015-18:2002. Methods of test for mortars for masonry. Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. Brussels.

CEN (2009). EN 15801. Conservation of cultural property. Test methods. Determination of water absorption by capillarity. Brussels.

CEN (2013a). EN 16302:2013. Conservation of cultural heritage - Test methods - Measurement of water absorption by pipe method. Brussels: CEN.

CEN (2013b). EN 16322:2013. Conservation of cultural heritage - Test, methods - Determination of drying properties. Brussels.

CMA (1985). Fotografia do mural “Evocação a Fernão Mendes Pinto”. Não publicado.

Daehne, A., & Herm, C. (2013). Calcium hydroxide nanosols for the consolidation of porous building materials - results from EU-STONECORE. Heritage Science, 1, 11. <http://doi.org/10.1186/2050-7445-1-11>

Daniele, V., Taglieri, G., & Quaresima, R. (2008). The nanolimes in Cultural Heritage conservation: Characterisation and analysis of the carbonatation process. Journal of Cultural Heritage, 9, 294–301. <http://doi.org/10.1016/j.culher.2007.10.007>

Dei, L., & Salvadori, B. (2006). Nanotechnology in cultural heritage conservation: nanometric slaked lime saves architectonic and artistic surfaces from decay. Journal of Cultural Heritage, 7, 110–115. <http://doi.org/10.1016/j.culher.2006.02.001>

DIN (2013). DIN 18947. Earth plasters – Terms and definitions, requirements, test methods (em alemão). Berlin.

Drdácký, M., Lesa, J., Niedoba, K., & Valach, J. (2014). Peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of mortar and render surfaces. Materials and Structures. <http://doi.org/10.1617/s11527-014-0285-8>

Drexler, K. E., Peterson, C., & Pergamit, G. (1991). Unbounding the future: the nanotechnology revolution. (W. Morrow, Ed.) (1.a ed.). New York: William Morrow.

Faria-Rodrigues, P. (2004). Contribuição para o estudo da influência dos ligantes. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil - FCT/UNL. Lisboa.

- Faria, P., Rato, V., & Henriques, F. (2007).** Argamassas correntes: Influência do tipo de ligante e do agregado. 2º Congresso Nacional de argamassas de construção, Lisboa, PORTUGAL.
- Faria, P., Santos, T., & Aubert, J-E. (2015).** Experimental characterization of an earth eco-efficient plastering mortar. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28 (1), <http://dx.doi.org/10.1061/>
- Feilden, B. (1982).** Conservation of historic buildings. (Third Ed.). Londres, Butterworth: Architectural Press.
- Flores-Colen, I. (2009).** Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico.
- Giorgi, R., Baglioni, P., Baglioni, M., & Berti, D. (2010).** New methodologies for the Conservation of Cultural Heritage: Micellar solutions, Cultural Heritage : Micellar solutions, microemulsions and Hydroxide Nanoparticles. *Accounts of chemical research*, (MARCH). <http://doi.org/10.1021/ar900193h>
- Gomez-Villalba, L. S., López-Arce, P., Alvarez de Buergo, M., & Fort, R. (2011).** Structural stability of a colloidal solution of Ca(OH)₂ nanocrystals exposed to high relative humidity conditions. *Applied Physics A*, 104(4), 1249–1254. <http://doi.org/10.1007/s00339-011-6457-2>
- Grilo, J., Faria, P., Veiga, M. do R., Silva, A. S., Silva, V., & Velosa, A. (2014).** New natural hydraulic lime mortars – Physical and microstructural properties in different curing conditions. *Construction and Building Materials*, 54, 378–384. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.078>
- Henriques, F. (1991).** A conservação do património histórico edificado. *Memoria 775*. Lisboa.
- Henriques, F. (1994).** Humidade em paredes. (LNEC, Ed.). Lisboa: LNEC.
- Henriques, F. (2004).** A conservação do património histórico em Portugal: Perspectivas e bases de actuação. *Revista Engenharia e Vida*, 5-12.
- Hirst, E., & D'Armada, P. (2012).** Nano-Lime for consolidation of plaster and Stone. *Journal of Architectural Conservation*, 18(1), 63–80.
- Hou, P., Cheng, X., Qian, J., Zhang, R., Cao, W., & Shah, S. P. (2015).** Characteristics of surface-treatment of nano-SiO₂ on the transport properties of hardened cement pastes with different water-to-cement ratios. *Cement and Concrete Composites*, 55, 26–33. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.07.022>
- ICOMOS-ISC (2008).** Illustrated glossary on stone deterioration patterns. *Monuments and sites*.
- IPQ (2000).** NP EN 933-1:2000. Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 1: Método de Peneiração. Caparica.
- IPQ (2002).** NP EN 1097-3:2002. Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: Método para determinação da massa volúmica e dos vazios. Lisboa.
- IPQ (2008).** NP EN 1936:2008. Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta. Caparica.
- ISO Standards (1997).** RUBBER – Determination of indentation hardness by means of pocket hardness meters. Iso Standards.
- Jain, A. (1989).** Fundamentals of digital image processing. Prentice Hall. New Jersey, United States.
- Kunzel, H. M., & Holm, A. (2004).** Rain protection of stucco facades. *ASHRAE - Buildings*.
- Kus, H., & Nygren, K. (2002).** Microenvironmental characterisation of rendered autoclaved aerated concrete. *Building Research & Information*, 30, 25–34.

Lourenço, F., (n.d). Documentação variada sobre o mural “Evocação a Fernão Mendes Pinto”, não publicado

Magalhães, A. C. (2002). Patologia de rebocos antigos, Caderno de Encargos 2 (1), 1–15.

Miranda, V. (2004). Análise de aderência de soluções de reboco tradicional sobre suportes em betão. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa.

Moon, H. Y., Shin, D. G., & Choi, D. S. (2007). Evaluation of the durability of mortar and concrete applied with inorganic coating material and surface treatment system. *Construction and Building Materials*, 21, 362–369. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.08.012>

Muller, U., & Malaga, K. (2011). Study on the application of anti-graffiti systems on natural stones and concrete. *Hydrophobe VI*, 6th International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials Aedificatio Publishers. Roma.

Musacchi, J., & Diaz Gonçalves, T. (2014). Influence of nano-lime and nano-silica consolidants in the drying kinetics of three porous buildings materials. *Relatório 168/2014* - realizado no âmbito do projecto DRYMASS – DM/NBPC. Lisboa: LNEC.

Natali, I., Saladino, M. L., Andriulo, F., Chillura Martino, D., Caponetti, E., Carretti, E., & Dei, L. (2014). Consolidation and protection by nanolime: Recent advances for the conservation of the graffiti, Carceri dello Steri Palermo and of the 18th century lunettes, SS. Giuda e Simone Cloister, Corniola (Empoli). *Journal of Cultural Heritage*, 15(2), 151–158. <http://doi.org/10.1016/j.culher.2013.03.002>

NSTC (2007). The National Nanotechnology Initiative (First, Vol. 1). United States: National Science and Technology Council.

Paiva, J. V., Aguiar, J., & Pinho, A. (2006). Guia técnico de reabilitação habitacional. Lisboa: INH/LNEC.

Pascoal, P.; Borsoi, G.; Veiga, R.; Faria, P.; Silva, A.S. (2015). Consolidation and chromatic reintegration of historical renders with lime-based pozzolanic products. *Studies in Conservation*, 60 (5), 321-332. Doi:10.1179/2047058414Y.0000000151.

Pianski, J., Brümmer, K., & Ziegenbalg, G. (2010). Nano-particles for stone conservation - state of the art, characteristics and recent developments. In: *Stonecore - Recent progress in the consolidation of calcareous materials*. Litomyšl, Czech Republic.

Rojas, S. De. (2010). Surface water repellent-mediated change in lime mortar colour and gloss. *Construction and Building Materials*, 24(11), 2188–2193. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.039>

San Andrés-Moya, M., Barberena-Fernandez, A. M., Carmona-Quiroga, P., & Blanco-Varela, M. T. (2013). Consolidation treatments for conservation of concrete sculptures. *Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage* (pp. 301–304). CRC Press.

Sanchez, F., & Sobolev, K. (2010). Nanotechnology in concrete - A review. *Construction and Building Materials*, 24(11), 2060–2071. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014>

Sandrolini, F., Franzoni, E., & Pigino, B. (2012). Ethyl silicate for surface treatment of concrete - Part I: Pozzolanic effect of ethyl silicate. *Cement and Concrete Composites*, 34(3), 306–312. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.12.003>

Sasse, H. ., & Snethlage, R. (1996). Methods for the evaluation of stone conservation treatments. Report of Dahlem Workshop on Saving our Architectural Heritage. Berlin.

Simas, M. S., Fragoso, S., Lourenço, F., Macedo, R., & Ferreira, J. (2015). Evocação a Fernão Mendes Pinto, a Collective Mural Painting on Cement. (M. Sanchez-Pons, W. Shank, & L. Fuster López, Eds.) *Conservation Issues in Modern and Contemporary Murals*. Newcastle: Cambridge Scholars Publishing.

- Singh, L. P., Karade, S. R., Bhattacharyya, S. K., Yousuf, M. M., & Ahalawat, S. (2013).** Beneficial role of nanosilica in cement based materials – A review. *Construction and Building Materials*, 47, 1069-1077. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.052>
- Slížková, Z., Drdácý, M., Moreau, C., & Frankeová, D. (2010).** Consolidation of porous limestone with suspensions of calcium hydroxide nano-particles in alcohols. In: *Stonecore - Recent progress in the consolidation of calcareous materials*. Litomysl, Czech Republic.
- Sten, P. (1981).** Lime Water Consolidation. *ICCROM*, 53–61.
- Tavares, M. (2009).** A conservação e o restauro de revestimentos exteriores de edifícios antigos. Tese de Doutoramento em Arquitectura, Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa.
- Tavares, M., & Veiga, M. do R. (2007).** A conservação de rebocos antigos. Restituir a coesão perdida através da consolidação com materiais tradicionais e sustentáveis. VII SBTA, Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Recife.
- Tavares, M., & Veiga, M. do R. (2011).** Uma metodologia de estudo para a conservação de rebocos antigos - O restauro através da técnica de consolidação, *Anais do VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas/ I International Symposium on Mortars Technology*. Florianópolis: UFSC.
- Toumbakari, E. E., Van Gemert, D., Tassios, T. P., & Tenoutasse, N. (1999).** Effect of mixing procedure on injectability of cementitious grouts. *Cement and Concrete Research*, 29, 867–872. [http://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00054-X](http://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00054-X)
- UNL/DEC. (1996).** Fichas de Ensaio – Inertes para argamassas e betões. Determinação da baridade Fe15.
- Van Hees, R., Van Der Klugt, L., De Witte, E., De Clerq, H., Binda, L. & Baronio, G. (1995).** Test methods for the evaluation of the in situ performance of water-repellent treatments, *Proc. 1st Int. Sym. on Surface Treatment of Building Materials with Water Repellent Agents*, Delft, pp. 14/1-14/16.
- Veiga, R. (1998).** Comportamento de argamassas de revestimentos de paredes: Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação. Tese Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Porto.
- Veiga, R. (2002).** Argamassas de reboco para paredes de edifícios antigos: requisitos e características a respeitar. *Caderno de edifícios no2 - Revestimentos de paredes em edifícios antigos*, 39–55.
- Villegas, R. (2003).** Metodologia para la evaluacion y estudio previo de tratamientos, in: *metodologia de diagnóstico de tratamientos para la conservación de los edificios históricos*. Cuadernos Técnicos, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Sevilla.
- X-Rite. (2007).** A Guide to Understanding Color Communication. United States: X-Rite.
- Zornoza-Indart, A. & Lopez-Arce, P., (2015).** Silica nanoparticles (SiO₂): Influence of relative humidity in stone consolidation. *Journal of Cultural Heritage*, *in press*. <http://doi.org/10.1016/j.culher.2015.06.002>

ANEXOS

Anexo I – Fichas Técnicas dos materiais utilizados



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.

C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 GETAFE (Madrid)

Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33

www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

N A N O E S T E L

PRODUCTO CONSOLIDANTE Y FIJATIVO PARA PIEDRAS NATURALES, LADRILLO,
TERRA COTA, MORTEROS E INTONACOS.

CARACTERISTICAS

NANO ESTEL es una dispersión acuosa coloidal de sílice con dimensiones nano métricas, en torno a 10-20 nm.

Estas dimensiones son inferiores a las de las micro emulsiones acrílicas (40-50 nm), y a las de la nano cal (200 nm).

Se presenta como un líquido muy fluido, también con un residuo seco del 30%, y siendo estabilizado con NaOH (<0,5%) presenta un pH alcalino (pH = 9,8-10,4).

Después de la evaporación del agua las partículas se ligan entre si formando el gel de sílice, similar a lo que ocurre con el silicato de etilo y consiguiéndose así el efecto consolidante.

VENTAJAS

Respecto al silicato de etilo **ESTEL 1000**, la dispersión de sílice puede aplicarse en ambientes húmedos, y presenta un tiempo de toma reducido (3 - 4 días).

Siendo una dispersión acuosa **NANO ESTEL** no es inflamable y no presenta símbolos de toxicidad, con la consiguiente reducción de los factores de riesgo en laboratorio y en obra, y reduciendo los costes de transporte y almacenamiento.

A diferencia de los silicatos alcalinos no provoca la formación de subproductos secundarios dañinos (con los silicatos de sodio y potasio se forman respectivamente soda y potasa, que carbonatan con el aire formando sales solubles).

Dada la naturaleza del gel de sílice la reducción de permeabilidad al vapor de agua es mínima.

La acción consolidante debido a la formación del sílice permite el empleo de **NANO ESTEL** también como ligante de inertes para realización de morteros, para pequeños estucados, o con pigmentos, obteniendo una superficie opaca y químicamente estable.

LIMITES

La capacidad de penetración es reducida respecto al silicato de etilo, el nivel del poder de consolidación es todavía objeto de estudio. También la resistencia en el tiempo de los morteros obtenidos está por valorar.

EMPLEO

NANO ESTEL es un producto concentrado, con un 30% de residuo seco, a diluir con 1-2 partes de agua desmineralizada, llevando así el porcentaje de materia activa al 10-15%. Se aconseja efectuar test de prueba para determinar el rapor exacto de dilución, que en algunos casos puede ser distinto de lo indicado, en base al soporte y al efecto que se quiere obtener.

La superficie a tratar debe estar limpia y saneada de eventuales sales eflorescentes presentes.

La temperatura atmosférica y de la superficie a tratar debe estar comprendida entre 5°C y 35°C.

Por debajo de 5° C la reacción no se produce.

El producto puede aplicarse también en presencia de elevados valores de humedad, o también sobre superficies húmedas (aunque esto hace dificultosa la penetración)



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.

C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 GETAFE (Madrid)

Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33

www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

NANO ESTEL puede aplicarse por inmersión, pincel o pulverizado a baja presión y finalmente inyectado mediante jeringas en fisuras.

Su reacción se completa después de aproximadamente **tres - cuatro días** con temperatura ambiente de 20°C. aproximadamente.

Para acelerar la toma se aplica antes alcohol etílico Mostanol, después **NANO ESTEL** diluido en agua desmineralizada.

Debido a la heterogeneidad de los materiales existentes, es indispensable realizar test preliminares sobre una muestra del material que se quiera tratar con el fin de verificar:

- el grado del efecto consolidante que se obtiene;
- la cantidad de material a utilizar;
- la ausencia de variaciones cromáticas sobre el material pétreo tratado.

ADVERTENCIAS

La gelificación de **NANO ESTEL** se puede obtener con los siguientes sistemas:

- Haciendo evaporar el agua (método normal)
- Cambiando el pH (por ejemplo mezclado con cal se cementa de repente)
- Mezclando con disolventes hidrosolubles (alcohol, acetona)
- Añadiendo una sal (método desaconsejado para el sector restauración)

Es entonces necesario valorar la influencia de estos parámetros antes de proceder a la aplicación.

En el caso de sobre dosificación es posible retirar el exceso, antes del endurecimiento, con papetas empapadas en agua desmineralizada.

Dado el pH alcalino el efecto sobre algunos tipos de película pictórica puede ser negativo: verificar con cuidado antes de la aplicación.

DATOS FISICOS

Principios activos	Bióxido de silicio de dimensiones nano metricas
Contenido de principio activo (%)	30
Viscosidad dinámica (mPas a 20°C)	6-8
Densidad (g/cm ³ a 20°C)	1,1-1,3
Tensión de vapor (hPa a 25°C)	32
Dimensiones de las partículas (nm)	<20
Superficie específica (m ² /g)	260
pH	9,5-10,4

CONFECCIONES

NANO ESTEL está disponible en envases de 1 - 5 - 25 kg.

ALMACENAJE

12 meses en recipientes originales herméticamente cerrados. Conservar entre 5° C y 40 °C

La información contenida en esta ficha técnica se basa en nuestro conocimiento y pruebas de laboratorio en la fecha de la última versión. El usuario debe comprobar la idoneidad del producto para cada uso específico de las pruebas preliminares, y deben respetar las leyes y reglamentos vigentes en materia de higiene y seguridad. C.T.S. España S.L. garantiza una calidad constante del producto, pero no se hace responsable de los daños causados por un uso incorrecto del material. Este producto está destinado exclusivamente para uso profesional. Además, pueden cambiar en cualquier momento de los componentes y los envases sin ningún tipo de comunicación.



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.

C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 GETAFE (Madrid)

Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33

www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

A continuación les reportamos algunas referencias recogidas sobre la línea “NANO ESTEL”

Nombre del monumento/obra	Localidad – Provincia (País)
Calcestruzzo dell'acquedotto romano	Sesto Fiorentino (I)
Cimborrio della Cattedrale di Barcellona	Barcelona (E)
Capilla de los Sastres – Cattedrale di Terragona	Terragona (E)
Portale in arenaria Galleria Ricci Oddi	Piacenza (I)
Ritocco pittorico sull'orologio del Campanile di Lavis	Lavis – Trento (I)
Concotti in terracotta provenienti dal sito palafitticolo di Lucone di Polpenazze	Lucone – Brescia (I)

Los estudios científicos realizados por la Universidad

Università di Parma

Licchelli M., Weththimuni M., Zanchi C.; “Nanoparticles For the consolidation of Lecce Stone”, Atti del XXIV Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana, Lecce, 11-16 settembre 2011.

Università degli Studi di Napoli

Angelici E., Grassini S., Fulginiti D., Parvis M., Segimiro A.; “Compatibilità and efficiency of restoration products for artefacts in neapolitan yellow tuff” Scienza e Beni Culturali XXIX, Bressanone, 2013.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa

G. Borsoi, R. Veiga, A. Santos Silva; “Effect of nanostructured lime-based and silica-based products on the consolidation of historical renders”, 3rd Historic Mortars Conference 11-14 September 2013, Glasgow, Scotland



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.

C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 GETAFE (Madrid)

Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33

www.ctseurope.com • E-mail: cts.espana@ctseurope.com

NANORESTORE®

Dispersiones de nanocal en alcohol isopropílico desnaturalizado
Patente Italiana Consorcio CSGI-Universidad de los Estudios de Florencia
n° FI/96/A/000255, 31/10/1996

CARACTERÍSTICAS

Dada la naturaleza absolutamente innovadora del producto, el Consorcio CSGI, inventor de la formulación, ofrece consultoría técnica con fines científicos para individualizar las mejores condiciones aplicativas (para información contactar con el personal CSGI en la siguiente dirección: direttore@csgi.unifi.it).

Nanorestore® se presenta como el consolidante compatible por excelencia para frescos y piedras de matriz carbonática, estando constituidas por partículas de cal apagada con dimensiones en el dominio de los materiales nanoestructuradas dispersas en alcohol isopropílico.

El alcohol garantiza una óptima penetración en los materiales porosos (gracias a su baja tensión superficial) por succión capilar; y penetrando en la matriz porosa transporta detrás de sí las partículas nano-estructuradas que se insertan en los intersticios y en las porosidades a consolidar inmediatamente por debajo de la superficie.

Una vez transformados en carbonato de calcio por acción del anhídrido carbónico atmosférico, originan una red de micro-cristales de calcita que confieren a la obra nuevas y elevadas propiedades mecánicas sin introducir materiales extraños a la naturaleza química original de la obra. Los espesores de consolidación son estrechamente superficiales, del orden de algunos centenares de microns.

El producto **Nanorestore®** se presta óptimamente a la aplicación como pre-consolidante de superficies antes de cualquier operación preliminar de limpieza.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICO -FÍSICAS

aspecto:	líquido blanco opaco
Viscosidad a 25° C:	2.75 cP
residuo seco:	0,5 %
peso específico:	ca. 0,8 g/cm ³

MODALIDAD DE APLICACIÓN

Antes de usar agitar vigorosamente el recipiente durante al menos 2 minutos. La dispersión, para uso en frescos, puede ser diluida en el caso de que se evidencien, después de test aplicativos, efectos de veladura blanca que puede, de todas formas, ser fácilmente eliminada con simples compresas de agua.

En el caso de pétreos de matriz carbonática puede no ser necesaria la disolución. La relación de disolución se decide en relación a la capacidad absorbente de la superficie a tratar y del nivel de porosidad de la obra. Se sugieren las siguientes disoluciones:

de 80 a 500 cc en 1 litro

La relación de disolución se decide cada vez en relación a la capacidad absorbente de las matrices porosas. Es evidente que cuanto más diluida es la dispersión más numerosas pueden ser las aplicaciones necesarias. El disolvente a añadir para diluir es el alcohol isopropílico desnaturalizado CTS, tal cual o también, para aplicaciones particulares, una mezcla con agua desmineralizada hasta un contenido máximo de agua similar al 50 % en volumen. El uso de cantidades más o menos relevantes de agua depende de las condiciones de humedad del soporte y del ambiente: cuanto menor sea la humedad mayor cantidad de agua puede añadirse y viceversa. Una vez conseguida la disolución agitar nuevamente el recipiente que contiene la dispersión diluida y proceder a la aplicación mediante pincel o mediante nebulización, con protección de las superficies con papel japonés. Aplicar hasta saturación del soporte ("hasta su rechazo") y esperar el completo secado antes de efectuar una eventual aplicación sucesiva. Efectos apreciables de consolidación se consiguen normalmente después de un número de aplicaciones que está obviamente relacionada a la concentración seleccionada: cuanto más se diluye la dispersión, mayor es el número de aplicaciones necesarias. Se puede aplicar desde 1-2 aplicaciones para la más concentrada a 10-12 para la más diluida. Acabada la última aplicación esperar 5-7 días antes de las pruebas de limpieza y verificación de las propiedades mecánicas de la superficie.

Antes de cualquier aplicación el recipiente que contiene la dispersión debe de agitarse y con igual cuidado se deben tratar las agitaciones de los recipientes de uso durante las aplicaciones.

La superficie tratable con 1 litro de producto no es a priori definible ya que depende tanto de la concentración de uso como de la capacidad absorbente de la matriz del soporte. Antepuesto esto se estima que el producto en concentración standard permite tratar aproximadamente 5-10 m² de



C.T.S. ESPAÑA

Productos y Equipos para la Restauración, S.L.

C/. Monturiol, 9 - Pol. Ind. San Marcos

28906 GETAFE (Madrid)

Tel.: +34 91 601 16 40 (4 líneas) - Fax: +34 91 601 03 33

www.ctseurope.com · E-mail: cts.espana@ctseurope.com

superficie pictórica de media porosidad de grado medio de decohesión superficial.

Es oportuno evitar el uso de Nanorestore® en aquellas situaciones en que la porosidad superficial se anula del todo por la presencia de fijativos poliméricos, depósitos consistentes de suciedad.

El uso del producto no como simple pre-consolidante, sino como consolidante final en presencia de sulfatación debe prever en uso preventivo de un tratamiento desulfatante con papetas de soluciones de carbonato de amonio o resina de intercambio iónico Amberlite 4400 OH. El producto Nanorestore® puede a este punto ser usado según las modalidades consabidas también en alternativa a las papetas de solución de hidrato de bario, si bien en este caso es aconsejable contactar con el Consorzio CSGI.

Se señalan sin embargo posibles problemas en caso de presencia de cantidades muy elevadas de sales de magnesio. Se recomienda, en cualquier caso, realizar una mínima investigación diagnóstica, antes de la intervención, finalizada a la determinación de la técnica pictórica y a la valoración de la degradación.

Se subraya en fin que es un material que se recomienda adecuado para las partes pintadas "en fresco".

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Nanorestore® no presenta particulares peligros para los usuarios.

En las aplicaciones a nebulización protegerse con máscara de los vapores de alcohol isopropílico y en ambientes muy cerrados facilitar la dispersión de los vapores con aspiradores.

El producto Nanorestore® es inflamable. Se manipula y almacena con las precauciones normales relativas a este tipo de productos.

ESTABILIDAD Y ALMACENAMIENTO

Puede formarse sedimento sobre el fondo, se recomienda una vigorosa agitación manual antes del uso.

Las confecciones mantenerlas bien selladas y ausentes de aire y humedad tienen una duración de 12 meses.

CONFECCIONES

Nanorestore® está disponible en confecciones de 1 lt.

Las indicaciones y los datos indicados en el presente folleto se basan en nuestra experiencia actual, sobre pruebas de laboratorio y su correcta aplicación.

Estas informaciones no deben en ningún caso sustituirse a las pruebas preliminares que es indispensable efectuar para cerciorarse de la idoneidad del producto a cada caso determinado.

C.T.S. España garantiza la calidad constante del producto pero no responde de eventuales daños causados por un empleo no correcto del material. Además, puede variar en cualquier momento los componentes y las confecciones sin obligación de comunicación alguna.

CEM II/B-L 32,5N

Cimento Portland de Calcário



Locais de Produção

Fábrica Secil-Outão
Fábrica Cibra-Pataias
Fábrica Maceira-Liz

Embalagem

Granel
Sacos de 40kg
Sacos de 25kg

Certificação

Cimento certificado segundo a NP EN 197-1.
Certificados de Conformidade 0856-CPD-0130, 0856-CPD-0131 e 0856-CPD-0132.

Composição do Produto (Núcleo Cimento)

65% a 79% Clínquer Portland
21% a 35% Calcário
0% a 5% Outros Constituintes

Principais Aplicações

O Cimento Portland de Calcário CEM II/B-L 32,5N é o cimento mais utilizado nas obras de construção civil. A sua excelente trabalhabilidade e baixo calor de hidratação tornam-no especialmente adaptado a todos os trabalhos correntes da construção.

O cimento CEM II/B-L 32,5N é principalmente utilizado em:

- argamassas e betão não armado para enchimentos e regularização;
- betão estrutural, pronto ou fabricado em obra de média resistência;
- argamassas de assentamento, reboco e reparação;
- fundações directas e indirectas em ambientes moderadamente agressivos;
- estabilização de solos e solo-cimento;
- prefabricação de blocos, tubos, manilhas e outros artefactos à base de cimento;
- prefabricação ligeira em regime de baixa rotatividade de moldes.

Principais Características

Cimento de cor cinzenta, com menor calor de hidratação e melhor trabalhabilidade que um cimento CEM I da mesma classe de resistência.

Desenvolvimento mais lento de resistências (menor resistência inicial).

Resistências finais dentro dos valores da classe indicada (resistências aos 28 dias).

Advertências Específicas

Este cimento melhora a trabalhabilidade de betões e argamassas e permite uma redução da dosagem de água de amassadura. Porém, o correcto desenvolvimento de resistências é sensível ao processo de cura pelo qual deverão ser tomadas precauções para evitar a dissecação de peças betonadas muito expostas ao sol e ao vento (possível fendilhação).

Não se recomenda a utilização deste cimento em tempo muito frio, sem que se tomem medidas adequadas.

Informação de Segurança

O manuseamento do cimento em pó pode causar irritação dos olhos e vias respiratórias. Quando misturado com água pode ainda causar sensibilização da pele. Aconselha-se o uso de máscara anti-poeiras para protecção respiratória, luvas de protecção das mãos, óculos de protecção dos olhos e fato de trabalho para protecção da pele.

Para informação detalhada consulte a Ficha de Dados de Segurança deste produto.

Última actualização

Setembro 2004 - Versão 3

pag. 1 | 2

Características Químicas

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado (1)
Teor de Sulfatos (em SO ₃)	NP EN 196-2	≤ 3,5%
Teor de Cloretos	NP EN 196-21	≤ 0,10%

(1) As percentagens são referidas à massa de cimento.

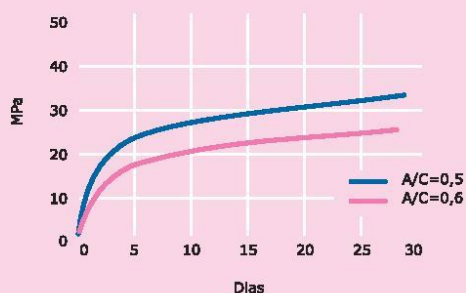
Características Mecânicas

Resistência à Compressão (MPa)			
Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência	NP EN 196-1
2 dias	7 dias	28 dias	
-	≥ 16	≥ 32,5 e ≤ 52,5	

Características Físicas

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado
Princípio de Presa	NP EN 196-3	≥ 75 min
Expansibilidade	NP EN 196-3	≤ 10 mm

Valores médios indicativos da resistência à compressão de betão fabricado com 350 Kg/m³ de cimento CEM II/B-L 32,5N



Habitação a custos controlados.
Quinta da Cabrinha, Lisboa.



Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.

Direção Comercial
Av. das Forças Armadas, 125 6º
1600-079 LISBOA
Tel. 217 927 100 . Fax. 217 936 200

Vendas Norte
Tel. 226 078 410 . Fax. 226 078 411

Vendas Centro
Tel. 244 779 500 . Fax. 244 777 455

Vendas Sul
Tel. 212 198 280 . Fax. 212 198 229

Cimento Branco
Tel. 244 587 700 . Fax. 244 589 652

Departamento Técnico-Comercial
Tel. 212 198 280 . Fax. 212 198 229

E-mail - comercial@secil.pt
Site - www.secil.pt

CEM II/B-L 32,5R (br)

Cimento Branco Portland de Calcário



Locais de Produção

Fábrica Cibra-Pataias

Embalagem

Granel

Paleta de 32 ou 64 sacos de 25kg

Certificação

Cimento certificado segundo a NP EN 197-1.

Certificado de Conformidade 0856-CPD-0142.

Composição do Produto (Núcleo Cimento)

65% a 79% Clínquer Portland

21% a 35% Calcário

0% a 5% Outros Constituintes

Principais Características

Cimento de cor branca, com um índice de reflectância superior a 80%, apresentando um menor calor de hidratação e melhor trabalhabilidade que um cimento CEM I da mesma classe de resistência.

Desenvolvimento rápido de resistências iniciais (maior resistência inicial).

Resistências finais dentro dos valores da classe indicada (resistências aos 28 dias).

Principais Aplicações

Da pré-fabricação industrial a pequenos trabalhos de reparação, o Cimento Branco Portland de Calcário CEM II/B-L 32,5R (br) é indicado para uma grande variedade de trabalhos, conjugando-se bem com revestimentos nobres, como pedras, cerâmicas e cantarias. O cimento CEM II/B-L 32,5R (br) é principalmente recomendado para:

- fabrico de betão armado e não armado de elevado efeito arquitectónico branco ou com adição de pigmentos de cor (colorido);
- fabrico de argamassas industriais (argamassas prontas, cimento-cola), argamassas de restauro e reparação;
- fabrico de todo o tipo de argamassas;
- prefabricação ligeira e fabricação de artefactos à base de cimento branco.

Advertências Específicas

Na sua utilização em betões aparentes de elevado efeito arquitectónico e para garantir o acabamento final pretendido, são exigidos cuidados acrescidos:

- na formulação de betões e fabricação (dosagem água/ligante, qualidade e tipo de inertes, adjuvantes);
- na aplicação (programação e faseamento de betonagens, qualidade das cofragens e dos descofrantes, etc);
- na desmoldagem, processo de cura e protecção final

(Para informação detalhada consulte o apoio Técnico-Comercial da SECIL)

A melhor trabalhabilidade possibilita a redução da dosagem de água de amassadura, garantindo uma relação água/cimento compatível com as condições de aplicação.

Informação de Segurança

O manuseamento do cimento em pó pode causar irritação dos olhos e vias respiratórias. Quando misturado com água pode ainda causar sensibilização da pele.

Aconselha-se o uso de máscara anti-poeiras, de óculos para protecção dos olhos e luvas e fato de trabalho para protecção das mãos e pele.

Para informação detalhada consulte a Ficha de Dados de Segurança.

Última actualização

Setembro 2004 - Versão 4

pag. 1 | 2

Características Químicas

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado (1)
Teor de Sulfatos (em SO ₃)	NP EN 196-2	≤ 3,5%
Teor de Cloretos	NP EN 196-2	≤ 0,10%

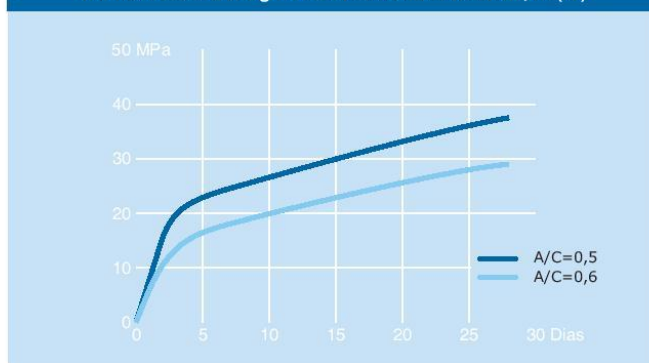
(1) As percentagens são referidas à massa de cimento.

Características Mecânicas

Resistência à Compressão (MPa)			
Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência	NP EN 196-1
2 dias	7 dias	28 dias	
≥ 10	-	≥ 32,5 e ≤ 52,5	

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado
Princípio de Presa	NP EN 196-3	≥ 75 min.
Expansibilidade	NP EN 196-3	≥ 10 mm

Valores médios indicativos da resistência à compressão de betão fabricado com 350 Kg/m³ de cimento CEM II/B-L 32,5R (br)



Centro Empresarial da
Praça de Espanha, Lisboa.

Betão arquitectónico de
cimento branco



Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.

Direcção de Vendas
Av. das Forças Armadas, 125, 7º • 1600-079 LISBOA
Tel. 217 927 100 • Fax. 217 936 200 • comercial@secil.pt

Vendas Norte Tel. 226 078 410 • Fax. 226 078 411
Vendas Centro Tel. 244 779 500 • Fax. 244 777 455
Vendas Sul Tel. 212 198 280 • Fax. 212 198 229
Vendas Técnicas Tel. 212 198 280 • Fax. 212 198 229
Cimento Branco Tel. 244 587 700 • Fax. 244 589 652

www.secil.pt

Anexo II – Tabelas de resultados de caracterização das matérias-primas e de argamassas no estado fresco

Tabela A.II 1 – Ensaio de baridade

Cimento Branco		Baridade [Kg/dm³]	Baridade Média [Kg/dm³]
M ₁ [Kg]	0,707	0,943	0,951
M ₂ [Kg]	0,715	0,954	
M ₃ [Kg]	0,716	0,956	
Cimento Cinzento			
M ₁ [Kg]	0,713	0,952	0,948
M ₂ [Kg]	0,698	0,931	
M ₃ [Kg]	0,720	0,961	
Areia			
M ₁ [Kg]	1,117	1,492	1,484
M ₂ [Kg]	1,110	1,481	
M ₃ [Kg]	1,107	1,479	

Tabela A.II 2 – Valores de espalhamento e teor em ar

	Cimento Cinzento		Teor em Ar
	Amassadura 1 [mm]	Amassadura 2 [mm]	
1	153	152	12%
2	156	154	
Média	154,5	153	
	Cimento Branco		Teor em Ar
	Amassadura 1 [mm]	Amassadura 2 [mm]	
1	152	152	10,50%
2	150	155	
Média	151	153,5	

Tabela A.II 3 – Ensaio de porosidade aberta

Provetes	M1	M2	M3	Porosidade aberta
Amostra Mural 1	80,4	46,6	85,1	12,4%
Amostra Mural 2	99,6	56,0	105,9	12,5%
Amostra Mural 3	68,7	39,5	72,5	11,5%
Amostra Mural 4	89,7	53,9	95,4	13,6%
Amostra Artista 1	34,8	20,5	40,5	28,5%
Amostra Artista 2	47,5	27,5	55,6	28,6%
Amostra Artista 3	60,1	35,0	70,0	28,3%
Amostra Artista 4	45,9	26,7	54,0	29,8%
CC_1	151,6	81,1	164,8	15,7%
CC_2	107,2	56,8	116,9	16,2%
CC_3	141,1	75,1	153,8	16,1%
CC_4	165,7	87,8	179,1	14,7%
CB_1	144,2	76,5	155,5	14,4%
CB_2	106,8	57,1	116,9	16,9%
CB_3	178,9	95,4	194,2	15,5%
CB_4	116,5	62,5	126,4	15,5%

Anexo III – Tabelas de resultados de ensaios das argamassas endurecidas

Tabela A.III 1 – Água absorvida sob baixa pressão pelos provetes de controlo – Tubos de Karsten

Tempo [min]	Quantidade de água absorvida [ml]					
	CC_1	CC_2	CC_3	CB_1	CB_2	CB_3
0	0	0,0	0	0	0	0
1	2,2	1,2	1,2	2,5	2,7	2,4
2	3,4	1,9	1,9	3,5	4,1	3,8
3	4,4	2,7	2,5	4,2	5,2	4,5
4	4,9	3,2	3	4,8	6,1	5
5	5,6	3,8	3,5	5,4	7,3	5,6
6	6,9	4,6	3,9	5,7	8,4	6,3
7	7,5	5,0	4,3	6,8	9,3	7
8	7,9	5,3	4,6	7	10,2	7,4
9	8,5	5,5	5	7,5	11	7,9
10	9,1	5,9	5,5	8,1	12	8,3
11	9,7	6,3	5,8	8,6	12,5	8,8
12	10,5	6,6	6,2	9,1	13,2	9,2
13	11	6,9	6,5	9,6	14,1	9,7
14	11,7	7,2	6,8	10,1	14,9	10,2
15	12,2	7,6	7,1	10,5	15,7	10,8
20	16,7	11,0	8,1	12,5	19,1	12,7

Tabela A.III 2 – Água absorvida sob baixa pressão pelos provetes de controlo pigmentados – Tubos de Karsten

Tempo [min]	Quantidade de água absorvida [ml]					
	VB_1	VB_2	VB_3	OA_1	OA_2	OA_3
0	0	0	0	0	0	0
1	1,2	0,7	0,9	0,4	1	0,9
2	1,7	1,2	1,2	0,6	1,5	1,3
3	2,2	1,6	1,4	0,8	2	1,7
4	2,5	2,1	1,9	1	2,4	2
5	2,9	2,4	2,1	1,1	2,9	2,2
6	3,1	2,7	2,3	1,3	3	2,5
7	3,3	2,9	2,6	1,5	3,3	2,8
8	3,4	3,1	2,9	1,6	3,8	3
9	3,7	3,4	3,1	1,8	4	3,2
10	4	3,5	3,3	1,9	4,1	3,3
11	4,1	3,7	3,5	2	4,1	3,4
12	4,4	3,9	3,7	2,1	4,1	3,5
13	4,7	4	3,9	2,2	4,2	3,6
14	5,1	4,2	4,1	2,4	4,2	3,6
15	5,4	4,4	4,3	2,6	4,3	3,7
20	5,7	5,1	4,8	3,3	5,3	4,1

Tabela A.III 3 – Água absorvida sob baixa pressão pelos provetes consolidados com NE – Tubos de Karsten

Tempo [min]	Quantidade de água absorvida [ml]			
	NE_CC 1	NE_CC 2	NE_CB 1	NE_CB 2
0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,3	0,2	0,2	0,2
2	0,5	0,4	0,4	0,5
3	0,6	0,7	0,6	0,7
4	0,7	0,8	0,8	0,9
5	0,8	1,0	1,1	1,1
6	0,9	1,1	1,2	1,3
7	1,0	1,2	1,3	1,4
8	1,1	1,3	1,4	1,5
9	1,3	1,4	1,5	1,6
10	1,6	1,5	1,6	1,7
11	1,7	1,6	1,6	1,7
12	1,8	1,7	1,7	1,8
13	1,9	1,8	1,8	1,9
14	2,1	1,9	1,9	2,0
15	2,1	2,0	1,9	2,1
20	2,3	2,4	2,1	2,4

Tabela A.III 4 – Água absorvida sob baixa pressão pelos provetes consolidados com NR – Tubos de Karsten

Tempo [min]	Quantidade de água absorvida [ml]			
	NR_CC 1	NR_CC 2	NR_CB 1	NR_CB 2
0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,7	0,9	2,0	1,1
2	1,1	1,2	3,3	1,6
3	1,5	1,6	4,3	2,1
4	1,7	1,8	4,8	2,4
5	2,0	2,1	5,6	2,9
6	2,2	2,3	6,4	3,3
7	2,5	2,6	7,0	3,7
8	2,7	2,8	7,8	4,0
9	2,9	3,1	8,0	4,2
10	3,1	3,2	8,5	4,4
11	3,3	3,4	9,0	4,7
12	3,5	3,5	9,2	4,9
13	3,6	3,6	9,4	5,1
14	3,8	3,7	9,7	5,3
15	4,0	3,9	10,0	5,4
20	4,5	4,9	10,7	6,1

Tabela A.III 5 – Água absorvida sob baixa pressão pelos provetes consolidados com NR+NE – Tubos de Karsten

Tempo [min]	Quantidade de água absorvida [ml]			
	NR+NE_CC 1	NR+NE_CC 2	NR+NE_CB 1	NR+NE_CB 2
0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	2,2	1,8	1,2	1,3
2	3,3	2,8	1,8	1,8
3	4,0	3,5	2,2	2,2
4	4,8	4,0	2,5	2,6
5	5,5	4,8	2,9	2,9
6	6,2	5,4	3,1	3,2
7	6,8	6,0	3,4	3,5
8	7,3	6,5	3,6	3,8
9	8,0	7,1	3,8	4,0
10	8,3	7,6	4,0	4,2
11	8,6	8,0	4,2	4,3
12	8,9	8,3	4,4	4,5
13	9,4	8,5	4,6	4,7
14	9,9	8,9	4,7	4,8
15	10,4	10,1	5,0	5,0
20	12,0	10,8	5,7	5,8

Tabela A.III 6 – Água absorvida sob baixa pressão pelos provetes pigmentados consolidados com NE – Tubos de Karsten

Tempo [min]	Quantidade de água absorvida [ml]			
	NE_OA 1	NE_OA 2	NE_VB 1	NE_VB 2
0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	1,0	1,0	0,9	0,8
2	1,3	1,4	1,4	1,3
3	1,6	1,7	1,8	1,6
4	1,9	2,1	2,2	2,0
5	2,1	2,3	2,5	2,5
6	2,4	2,6	2,8	2,8
7	2,7	2,9	3,2	3,0
8	3,0	3,1	3,5	3,4
9	3,2	3,4	3,8	3,7
10	3,4	3,7	4,1	3,9
11	3,6	3,8	4,4	4,0
12	3,9	4,0	4,5	4,1
13	4,1	4,1	4,7	4,2
14	4,2	4,2	4,9	4,3
15	4,3	4,3	5,0	4,4
20	4,5	4,6	5,8	4,8

Tabela A.III 7 – Tabela de resultados do ensaio de dureza superficial – durómetro *Shore A*

Produto Consolidante	Nº de provetes ensaiados	Tipo de Provete	28 dias	
			Dureza Superficial (Shore A)	Δ [graus Shore A]
CTRL	4	2 CTRL_CB	73,5 \pm 3,1	—
		2 CTRL_CC	75,0 \pm 4,1	—
NR	6	3 NR_CB	76,0 \pm 3,5	1
		3 NR_CC	78,0 \pm 3,1	1
NE	6	3 NE_CB	79,0 \pm 3,7	3
		3 NE_CC	81,0 \pm 3,9	4
NR+NE	6	3 NRNE_CB	80,0 \pm 2,7	4
		3 NRNE_CC	82,0 \pm 2,9	5
CTRL+Pigmento	4	2 CTRL_OA	75,5 \pm 3,1	—
		2 CTRL_VB	77,5 \pm 3,6	
NE+Pigmento	4	2 NE_OA	84,5 \pm 4,3	9
		2 NE_VB	85,5 \pm 3,6	8

Tabela A.III 8 – Tabela de resultados do ensaio de dureza superficial – esclerómetro pendular

Produto Consolidante	Nº de provetes ensaiados	Tipo de Provete	28 dias	
			Graus Vickers	Δ [graus Vickers]
CTRL	4	2 CTRL_CB	20,5 ± 0,4	—
		2 CTRL_CC	22,5 ± 0,4	—
NR	6	3 NR_CB	30 ± 0,6	9,5
		3 NR_CC	30 ± 0,5	7,5
NE	6	3 NE_CB	35 ± 0,5	14,5
		3 NE_CC	36 ± 0,5	13,5
NR+NE	6	3 NRNE_CB	37 ± 0,6	16,5
		3 NRNE_CC	38 ± 0,6	15,5
CTRL+Pigmento	4	2 CTRL_OA	20,5 ± 0,4	—
		2 CTRL_VB	21,5 ± 0,4	
NE+Pigmento	4	2 NE_OA	36,5 ± 1,1	16
		2 NE_VB	32 ± 0,7	10,5

Tabela A.III 9 – Ensaio de coesão superficial

Consolidante	Provete	Massa na fita-cola		Quantidade de Resíduo Presente na Fita	Media [g]	σ [g]
		Massa Inicial [g]	Massa Final [g]			
CTRL	CC3	0,145	0,278	0,133	0,141	0,005
	CC4	0,148	0,296	0,148		
	CB1	0,146	0,241	0,095	0,121	0,018
	CB2	0,145	0,292	0,147		
NE	CC5	0,147	0,159	0,012	0,013	0,002
	CC6	0,145	0,158	0,013		
	CC7	0,141	0,160	0,019		
	CB6	0,144	0,180	0,036	0,021	0,006
	CB7	0,145	0,158	0,013		
	CB8	0,149	0,170	0,021		
NR	CC8	0,146	0,198	0,052	0,052	0,008
	CC9	0,145	0,211	0,066		
	CC10	0,144	0,180	0,036		
	CB3	0,151	0,231	0,080	0,080	0,031
	CB4	0,145	0,325	0,180		
	CB5	0,144	0,210	0,066		
NR+NE	CC1	0,145	0,180	0,035	0,038	0,002
	CC2	0,146	0,188	0,042		
	CC11	0,147	0,185	0,038		
	CB9	0,143	0,180	0,037	0,042	0,006
	CB10	0,141	0,183	0,042		
	CB11	0,145	0,205	0,060		
CTRL + Pigmento	VB1	0,146	0,196	0,050	0,051	0,0004
	VB2	0,142	0,193	0,051		
	OA1	0,145	0,201	0,056	0,061	0,004
	OA2	0,144	0,210	0,066		
NE + Pigmento	VB3	0,145	0,147	0,002	0,009	0,005
	VB4	0,146	0,158	0,012		
	VB5	0,145	0,154	0,009		
	OA4	0,144	0,149	0,005	0,005	0,002
	OA5	0,145	0,15	0,005		
	OA6	0,145	0,146	0,001		

Tabela A.III 10 – Ensaio de resistência à abrasão

Consolidante	Provete	Massa do Provete		Quantidade de massa Perdida [g]		
		Massa Inicial [g]	Massa Final [g]		Media [g]	σ [g]
CTRL	CC3	562,424	560,607	1,817	1,852	0,024
	CC4	560,45	558,564	1,886		
	CB1	574,604	573,582	1,022	1,443	0,297
	CB2	589,845	587,982	1,863		
NE	CC5	581,083	580,954	0,129	0,158	0,041
	CC6	583,779	583,621	0,158		
	CC7	582,625	582,343	0,282		
	CB6	579,047	578,851	0,196	0,187	0,010
	CB7	550,171	550,012	0,159		
	CB8	563,214	563,027	0,187		
NR	CC8	559,563	558,174	1,389	1,270	0,126
	CC9	562,234	561,327	0,907		
	CC10	559,817	558,547	1,270		
	CB3	553,41	552,330	1,080	1,139	0,102
	CB4	559,438	557,979	1,459		
	CB5	558,956	557,817	1,139		
NR+NE	CC1	582,964	582,263	0,701	0,741	0,028
	CC2	561,348	560,607	0,741		
	CC11	579,198	578,388	0,810		
	CB9	587,047	586,295	0,752	0,564	0,079
	CB10	590,431	589,994	0,437		
	CB11	582,571	582,007	0,564		
CTRL + Pigmento	VB1	583,567	582,327	1,240	1,311	0,050
	VB2	589,301	587,920	1,381		
	OA1	615,226	614,147	1,079	1,131	0,037
	OA2	601,295	600,112	1,183		
NE + Pigmento	VB3	576,801	576,646	0,155	0,178	0,024
	VB4	601,685	601,436	0,249		
	VB5	616,792	616,614	0,178		
	OA4	594,539	594,367	0,172	0,246	0,029
	OA5	590,031	589,785	0,246		
	OA6	608,364	608,076	0,288		

Tabela A.III 11 – Registo das coordenadas colorimétricas dos provetes pigmentados com VB – envelhecimento natural

	Zona	Ponto	16/10/2015			23/10/2015			16/11/2015		
			L*	a	b*	L*	a	b*	L*	a	b*
VB1	E1Z1	E1Z1P1	26,67	18,36	11,62	31,05	20,42	11,72	36,1	17,78	11,45
		E1Z1P2	25,46	17,74	11,2	31,11	20,35	11,68	36,7	21,19	13,39
		E1Z1P3	25,46	17,71	11,17	30,77	20,21	11,52	35,9	21,79	13,41
	E1Z2	E1Z2P1	25,69	18,06	11,49	33,2	21,52	12,36	34,92	21,73	13,37
		E1Z2P2	25,86	17,87	11,3	34,36	21,7	12,57	35,7	21,77	13,38
		E1Z2P3	24,96	17,25	10,87	30,53	20,11	11,79	37,36	21,78	13,32
	E1Z3	E1Z3P1	27,93	18,7	11,58	32,88	21,55	12,51	34,56	21,63	13,2
		E1Z3P2	27,92	18,72	11,68	32,99	21,35	12,3	34,57	21,58	13,13
		E1Z3P3	27,9	18,7	11,65	32,9	21,42	12,29	35,01	21,01	12,98
VB2	E2Z1	E2Z2P1	27,27	18,71	11,89	32,31	21,66	12,7	34,98	19,55	11,75
		E2Z2P2	27,71	18,63	11,77	32,19	21,18	12,53	34,75	20,84	12,68
		E2Z2P3	28,04	18,92	11,95	32,31	21,17	12,53	33,69	21,47	13,12
	E2Z2	E2Z2P1	26,14	18,16	11,37	31,48	21,52	12,53	33,21	18,2	11,5
		E2Z2P2	26,56	18,13	11,34	32,39	21,94	12,81	33,56	17,47	10,97
		E2Z2P3	26,41	18,13	11,34	32,3	21,77	12,71	32,97	19,87	11,74
	E2Z3	E2Z3P1	26,91	18,62	11,8	31,96	21,43	12,5	34,56	21,49	13,13
		E2Z3P2	28,34	19,05	11,96	32,48	21,84	12,75	34,71	20,33	12,3
		E2Z3P3	26,11	18,43	11,69	31,68	21,47	12,6	34,93	20,39	12,3
VB3	E3Z1	E3Z1P1	25,77	17,75	11,13	31,7	21,12	12,29	32,45	20,84	12,52
		E3Z1P2	25,45	17,63	11,12	31,66	21,19	12,44	33,12	20,86	12,53
		E3Z1P3	25,85	17,78	11,2	31,4	21,11	12,36	32,97	19,33	11,38
	E3Z2	E3Z2P1	28,45	19,35	12,2	31,66	21,53	12,49	33,2	21,31	10,31
		E3Z2P2	28,39	19,35	12,19	31,45	21,42	12,47	32,47	20,79	11,56
		E3Z2P3	27,28	18,72	11,86	31,9	21,56	12,58	33,21	22,15	11,75
	E3Z3	E3Z3P1	26,66	18,44	11,73	31,09	20,75	11,82	32,07	21,44	13,36
		E3Z3P2	26,5	18,41	11,6	30,29	20,48	11,62	32,22	21,09	13,09
		E3Z3P3	26,28	18,32	11,54	30,92	20,7	11,76	32,61	21,88	13,57
VB4	E4Z1	E4Z1P1	27,72	18,39	11,58	29,71	20,26	11,54	33,25	21,89	13,57
		E4Z1P2	27,58	18,34	11,55	33,22	21,96	12,81	32,97	21,9	13,55
		E4Z1P3	27,13	18,19	11,47	33,45	21,83	13,05	32,75	20,97	13,25
	E4Z2	E4Z2P1	28,59	18,88	11,95	32,92	22,2	13,04	34,56	21,54	13,48
		E4Z2P2	28,52	18,83	11,93	32,29	21,85	12,66	34,89	21,46	13,47
		E4Z2P3	28,72	18,93	11,96	32,57	22	12,74	34,78	18,86	10,99
	E4Z3	E4Z3P1	25,13	17,93	11,34	33,76	22,52	13,3	35,61	20,86	12,64
		E4Z3P2	27,67	18,92	11,95	33,29	22,29	13,1	34,99	20,59	12,41
		E4Z3P3	26,43	18,47	11,68	33,89	22,64	13,3	35,21	20,8	12,62
VB5	E5Z1	E5Z1P1	27,17	18,14	11,3	32,95	22,33	13,11	34,26	21,12	12,84
		E5Z1P2	26,68	17,84	11,2	33,43	22,57	13,25	34,57	21,1	12,8
		E5Z1P3	28,83	18,7	11,64	33,53	22,7	13,42	35,01	21,15	12,89
	E5Z2	E5Z2P1	28,55	19,02	11,91	30,85	21,04	12,18	32,1	21,33	13,04
		E5Z2P2	28,76	19,15	12,04	32,74	21,83	12,61	33,78	21,36	13,06
		E5Z2P3	28,62	19,1	11,97	32,82	21,88	12,64	33,61	19,57	11,35
	E6Z3	E5Z3P1	29,7	19,17	11,99	31,54	21,35	12,33	32,29	20,85	12,56
		E5Z3P2	29,69	19,16	12,01	31,98	21,53	12,42	32,79	19,18	11,16
		E5Z3P3	29,84	19,19	12,01	32,84	21,9	12,62	34,75	17,22	9,52
VB6	E6Z1	E6Z1P1	28,56	18,92	11,75	32,2	21,77	12,6	34,62	20,8	12,29
		E6Z1P2	28,64	18,95	11,79	32,49	21,88	12,68	34,96	20,8	12,32
		E6Z1P3	28,87	19,05	11,88	33,14	22,01	12,6	35,71	20,73	12,28
	E6Z2	E6Z2P1	28,88	19,07	11,89	30,91	21,26	12,25	32,74	20,73	12,23
		E6Z2P2	28,53	18,96	11,8	32,94	22,08	12,82	33,07	20,56	12,14
		E6Z2P3	27,85	19,17	11,57	31,84	21,63	12,51	32,66	20,43	12,05
	E6Z3	E6Z3P1	29,05	19,37	11,84	33,04	22,09	12,75	34,25	20,35	11,94
		E6Z3P2	29,77	19,66	11,99	32,39	21,82	12,6	33,06	19,88	11,67
		E6Z3P3	29,76	19,67	11,94	31,36	21,46	12,46	33,03	19,82	11,68

Tabela A.III 12 – – Registo das coordenadas colorimétricas dos provetes pigmentados com OA – envelhecimento natural

	Zona	Ponto	16/10/2015			23/10/2015			16/11/2015		
			L*	a	b*	L*	a	b*	L*	a	b*
OA1	F1Z1	F1Z1P1	48,34	12,02	33,35	65,52	9,84	33,7	66,62	8,58	28,9
		F1Z1P2	46,35	11,7	32,48	65,32	9,91	33,9	66,3	8,51	28,7
		F1Z1P3	47,72	11,89	33,04	65,69	9,85	33,83	70,8	5,33	25,16
	F1Z2	F1Z2P1	50,74	12,67	34,58	64,74	10,54	34,74	70,73	5,1	25,07
		F1Z2P2	49,04	12,36	33,73	64,52	10,37	34,28	70,03	4,98	25,19
		F1Z2P3	48,25	12,23	33,34	64,36	10,54	34,89	65,77	7,91	27,41
	F1Z3	F1Z3P1	52,14	13,16	35,54	66,7	10,6	35	66,02	7,19	26,81
		F1Z3P2	51,69	13,07	35,31	64,34	10,34	34,07	66,26	6,76	26,46
		F1ZFP3	52,09	13,02	35,39	65,16	10,4	34,37	65,04	6,96	26,28
	OA2	F2Z1	F2Z2P1	51,77	11,84	34,01	67,73	10,93	36,98	65,15	7,15
F2Z2P2			49,53	11,58	32,96	68,12	11,63	38,69	63,93	7,56	26,19
F2Z2P3			50,25	11,73	32,99	68,28	11,59	38,62	63,36	8,38	27,37
F2Z2		F2Z2P1	52,69	13,17	35,93	68,18	10,58	35,71	63,87	8,43	27,71
		F2Z2P2	51,05	12,89	35,14	68,48	10,62	35,88	63,67	8,59	29,69
		F2Z2P3	51,83	12,84	35,52	68,56	10,61	35,91	63,11	9,09	30,38
F2Z3		F2Z3P1	50,61	12,85	34,75	65,19	11,56	37,36	63,32	9,11	30,39
		F2Z3P2	53,36	13,48	36,32	66,05	11,37	37,31	64,85	8,89	30,39
		F2Z3P3	52,91	13,2	36,31	66,26	11,61	37,85	64,95	8,8	30,31
OA3		F3Z1	F3Z1P1	51,07	12,83	34,93	66,06	10,52	34,13	64,19	8,6
	F3Z1P2		50,59	12,86	34,76	66,65	10,62	34,31	68,21	6,22	26,15
	F3Z1P3		50,51	12,87	34,76	66,34	10,6	34,29	68,68	6,26	26,25
	F3Z2	F3Z2P1	50,62	13,22	35,4	67,15	10,61	34,84	69,51	6,2	26,41
		F3Z2P2	48,93	12,98	34,76	67,13	10,65	34,64	68,51	6,3	26,14
		F3Z2P3	48,59	12,83	34,52	67,11	10,6	34,85	68,54	7,15	27,77
	F3Z3	F3Z3P1	49,57	12,59	34,42	62,6	10,95	35,47	68,83	7,18	27,84
		F3Z3P2	47,54	12,25	33,46	63,71	10,49	34,8	68,59	7,2	27,78
		F3Z3P3	49,81	12,67	34,57	63,34	10,25	34,32	68,2	7,45	28,06
	OA4	F4Z1	F4Z1P1	50,61	12,68	35,24	66,79	11,37	37,17	68,27	7,2
F4Z1P2			47,84	11,83	33,52	67,1	11,19	36,85	68,33	7,3	27,97
F4Z1P3			47,71	11,77	33,28	65,48	11,45	36,56	68,21	7,39	27,92
F4Z2		F4Z2P1	50,32	12,83	34,69	63,04	10,23	33,53	67,96	7,64	28,14
		F4Z2P2	45,68	11,98	32,42	61,22	9,99	32,54	67,42	7,81	28,27
		F4Z2P3	49,41	12,49	34,26	62,32	10,17	33,26	68,92	7,53	28,23
F4Z3		F4Z3P1	54,1	13,04	36,64	63,34	10,51	34,84	68,34	8,09	28,25
		F4Z3P2	54,11	13,04	36,62	62,72	10,28	34,1	67,11	8,07	28,53
		F4Z3P3	53,53	13,04	36,37	62,88	10,13	34,05	66,78	8,12	28,49
OA5		F5Z1	F5Z1P1	48,89	12,6	34,82	65,61	10,06	33,25	67	8,07
	F5Z1P2		47,83	11,8	33,54	65,57	10,21	33,53	66,35	8,49	28,77
	F5Z1P3		48,98	12,69	34,93	65,59	10,19	33,54	65,58	8,9	29,3
	F5Z2	F5Z2P1	49,43	12,52	34,56	66,28	10,77	35	64,89	9,18	29,29
		F5Z2P2	50,64	12,69	35,16	66,06	10,73	34,86	65,77	8,91	28,25
		F5Z2P3	50,33	12,57	34,21	66,3	10,73	34,98	64,51	10,38	30,3
	F6Z1	F5Z3P1	53,45	12,54	36,24	64	10,12	33,01	70,21	7,63	29,43
		F5Z3P2	47,69	11,57	33,38	65,33	10,36	33,88	69,79	7,1	29,09
		F5Z3P3	52,76	12,74	36,14	65,32	10,45	34,02	70,13	6,85	29,51
	OA6	F6Z1	F6Z1P1	51,8	13,26	35,66	66,1	11,04	36,43	68,34	7,01
F6Z1P2			50,64	12,61	34,17	66,93	11,09	36,7	69,55	6,99	29,78
F6Z1P3			51,71	13,19	35,65	66,8	11,11	36,7	68,59	6,96	29,35
F6Z2		F6Z2P1	45,65	12,64	33,44	66,14	10,73	35,82	68,2	7,27	29,29
		F6Z2P2	45,65	12,52	33,39	66,21	11,15	36,54	68,35	6,99	29,31
		F6Z2P3	44,45	12,53	33,11	65,19	11,85	37,39	67,29	7,4	30,12
F6Z3		F6Z3P1	52	13,26	36,71	68,99	9,65	34,32	67,54	7,51	30,3
		F6Z3P2	52,14	13,3	35,91	69,08	9,53	34,03	67,51	7,41	30,19
		F6Z3P3	52,44	13,21	36,68	68,31	9,39	33,61	64,43	10,08	30,74

Tabela A.III 13 – Registo das coordenadas colorimétricas dos provetes de controlo após 28 dias de envelhecimento natural

			L*	a	b*
CC_3	C3Z1	C3Z1P1	65,41	0,98	7,13
		C3Z1P2	62,43	0,76	6,44
		C3Z1P3	61,97	0,77	6,73
	C3Z2	C3Z2P1	61,97	0,75	6,72
		C3Z2P2	62,2	0,67	6,3
		C3Z2P3	62,84	0,66	6,34
	C3Z3	C3Z3P1	63,75	0,67	6,42
		C3Z3P2	64,46	0,68	6,62
		C3Z3P3	64,2	0,8	7,06
CC_4	C4Z1	C4Z2P1	60,48	1,11	7,63
		C4Z2P2	60,16	1,15	7,63
		C4Z2P3	59,12	0,63	5,34
	C4Z2	C4Z2P1	66,72	0,81	7,09
		C4Z2P2	64,49	1,08	7,46
		C4Z2P3	64,04	0,79	6,72
	C4Z3	C4Z3P1	63,7	0,88	7,4
		C4Z3P2	63,58	0,92	7,55
		C4Z3P3	61,22	0,69	7,09
CB_1	D1Z1	D1Z1P1	75,64	1,08	7,79
		D1Z1P2	76,09	1,1	7,78
		D1Z1P3	75,95	1,09	7,77
	D1Z2	D1Z2P1	75,97	1,09	7,78
		D1Z2P2	75,99	1,27	7,02
		D1Z2P3	70,83	1,93	8,91
	D1Z3	D1Z3P1	71,38	1,92	8,96
		D1Z3P2	72,47	1,94	8,94
		D1Z3P3	73,28	1,92	8,88
CB_2	D2Z1	D2Z1P1	75,14	1,54	8,04
		D2Z1P2	74,2	1,77	8,02
		D2Z1P3	75,28	1,49	7,96
	D2Z2	D2Z2P1	75,32	1,67	8,04
		D2Z2P2	75,09	1,65	7,91
		D2Z2P3	73,98	2,13	7,69
	D2Z3	D2Z3P1	74,27	1,59	8,04
		D2Z3P2	74,48	1,61	7,94
		D2Z3P3	75,13	1,61	8,03

Tabela A.IV 14 – Registo das coordenadas colorimétricas dos provetes consolidados após 28 dias de consolidação

			L*	a	b*
NE_CC	C3Z1	C3Z1P1	65,15	0,89	4,29
		C3Z1P2	66,07	0,82	5,08
		C3Z1P3	62,59	0,62	3,76
	C3Z2	C3Z2P1	62,96	0,45	4,28
		C3Z2P2	61,21	0,36	4,09
		C3Z2P3	59,85	0,37	4,13
	C3Z3	C3Z3P1	63,56	0,6	5,15
		C3Z3P2	63,92	0,63	5,12
		C3Z3P3	63,27	0,68	5,42
NE_CB	C4Z1	C4Z2P1	75,82	1,21	5,5
		C4Z2P2	71,35	0,99	4,95
		C4Z2P3	77,61	1,44	6,32
	C4Z2	C4Z2P1	75,61	2,11	7,24
		C4Z2P2	75,48	2	7,18
		C4Z2P3	76,32	2	7,21
	C4Z3	C4Z3P1	75,36	2,18	7,28
		C4Z3P2	75,29	2,24	7,33
		C4Z3P3	74,57	2,11	7,12
NR_CC	D1Z1	D1Z1P1	70,66	1,19	5,7
		D1Z1P2	69,45	1,15	5,55
		D1Z1P3	65,35	1,13	5,15
	D1Z2	D1Z2P1	57,84	0,52	4,16
		D1Z2P2	59,29	0,79	4,61
		D1Z2P3	58,79	0,47	4,19
	D1Z3	D1Z3P1	67,53	1,2	6,65
		D1Z3P2	68,54	0,98	4,22
		D1Z3P3	58,37	0,45	3,5
NR_CB	D2Z1	D2Z1P1	69,8	3	9,4
		D2Z1P2	68,96	2,81	9,69
		D2Z1P3	66,65	2,67	9,31
	D2Z2	D2Z2P1	72,7	2,77	8,38
		D2Z2P2	72,14	2,74	8,27
		D2Z2P3	73,48	2,92	8,77
	D2Z3	D2Z3P1	59,29	2,02	6,09
		D2Z3P2	59,61	1,91	5,59
		D2Z3P3	60,32	2,13	6,91
NR+NE_CC	D2Z1	D2Z1P1	62,94	2,3	8,62
		D2Z1P2	61,56	2,24	8,52
		D2Z1P3	61,17	2,23	8,42
	D2Z2	D2Z2P1	61,76	1,84	8,4
		D2Z2P2	61,22	1,79	7,73
		D2Z2P3	62,24	1,73	7,54
	D2Z3	D2Z3P1	61,95	2,66	9,44
		D2Z3P2	57	2,09	7,99
		D2Z3P3	61,99	2,3	8,92
NR+NE_CB	D2Z1	D2Z1P1	60,76	4,55	10,98
		D2Z1P2	60,11	4,53	10,9
		D2Z1P3	59	4,44	10,64
	D2Z2	D2Z2P1	65,12	3,58	9,64
		D2Z2P2	65,91	3,48	9,55
		D2Z2P3	66,15	3,42	9,45
	D2Z3	D2Z3P1	67,09	3,92	10,91
		D2Z3P2	66,33	3,86	10,74
		D2Z3P3	66,33	3,9	10,75

Tabela A.III 15 – Registo das coordenadas colorimétricas dos provetes pigmentados após 28 dias de consolidação

			L*	a	b*
NE_OA_F5	Z1	P1	60,91	11,63	34,87
		P2	60,85	11,64	34,87
		P3	60,78	11,63	34,79
	Z2	P1	67,21	11,63	35,83
		P2	67,18	11,64	35,83
		P3	67,21	11,63	35,86
	Z3	P1	64,06	7,77	31,89
		P2	63,36	7,96	31,85
		P3	63,54	7,99	31,94
NE_OA_F6	Z1	P1	64,55	12,18	36,63
		P2	64,56	12,18	36,64
		P3	64,54	12,17	36,63
	Z2	P1	65,14	10,87	35,08
		P2	65,23	10,72	34,9
		P3	65,25	10,68	34,87
	Z3	P1	66,75	10,24	32,45
		P2	66,52	10,64	33,16
		P3	66,41	10,82	33,51
NE_VB_E3	Z1	P1	31,41	19,33	11,59
		P2	31,35	19,35	11,63
		P3	31,34	19,36	11,61
	Z2	P1	29,61	19,52	11,49
		P2	29,76	19,58	11,52
		P3	29,77	19,58	11,52
	Z3	P1	29,59	18,67	10,93
		P2	29,65	18,72	10,67
		P3	29,68	18,71	10,94
NE_VB_E5	Z1	P1	32,17	17,74	9,61
		P2	30,11	18,21	9,89
		P3	29,17	18,2	9,87
	Z2	P1	29,45	19,25	10,98
		P2	30,45	19,28	10,95
		P3	30,85	19,28	10,96
	Z3	P1	31,24	18,35	10,67
		P2	28,74	18,45	10,75
		P3	29,65	18,36	10,68

Tabela A.III 16 – Água absorvida pelos provetes pigmentados com VB – ensaio de capilaridade

min ^{0,5}	Água absorvida [kg.m ⁻²]						
	CTRL_VB1	CTRL_VB2	CTRL_VB3	CTRL_VB4	NE_VB1	NE_VB2	NE_VB3
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,2	1,536	1,164	1,281	0,919	2,665	1,475	1,641
3,2	2,181	1,704	1,664	1,209	3,585	2,042	2,168
3,9	2,678	2,193	2,140	1,563	4,336	2,534	2,756
5,5	3,838	3,414	3,317	2,460	5,925	3,723	4,172
7,7	4,978	4,830	4,519	3,560	6,557	4,992	5,319
11,0	5,276	5,538	5,055	4,618	6,598	5,486	5,511
13,4	5,296	5,574	5,056	4,727	6,636	5,512	5,534
15,5	5,304	5,596	5,083	4,646	6,659	5,516	5,535
17,3	5,318	5,597	5,055	4,660	6,677	5,519	5,544
19,0	5,331	5,614	5,060	4,697	6,695	5,543	5,590
20,5	5,354	5,597	5,075	4,666	6,701	5,543	5,604
37,9	5,472	5,701	5,204	4,780	6,916	5,652	5,711
53,9	5,572	5,837	5,329	4,929	7,081	5,760	5,901

Tabela A.III 17 – Água absorvida pelos provetes pigmentados com OA – ensaio de capilaridade

min ^{0,5}	Água absorvida [kg.m ⁻²]						
	CTRL_OA1	CTRL_OA2	CTRL_OA3	NE_OA1	NE_OA2	NE_OA3	NE_OA4
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,2	1,424	0,817	0,968	1,403	1,815	1,550	1,531
3,2	2,162	1,251	1,487	2,071	2,606	2,094	2,040
3,9	2,751	1,611	1,900	2,580	3,197	2,662	2,531
5,5	4,121	2,554	2,936	3,766	4,486	3,981	3,345
7,7	5,521	3,974	4,212	5,288	5,223	5,188	4,689
11,0	5,615	5,483	4,648	5,548	5,310	5,306	5,043
13,4	5,649	5,544	4,717	5,596	5,356	5,334	5,170
15,5	5,720	5,647	4,723	5,603	5,363	5,335	5,116
17,3	5,648	5,584	4,760	5,613	5,364	5,361	5,122
19,0	5,675	5,562	4,682	5,615	5,384	5,377	5,125
20,5	5,701	5,625	4,717	5,639	5,431	5,483	5,142
37,9	5,790	5,721	4,815	5,738	5,511	5,463	5,281
53,9	5,886	5,815	4,955	5,874	5,660	5,590	5,403

Tabela A.III 18 – Quantidade de água libertada pelos provetes consolidados e pigmentados com VB – ensaio de secagem

	Água evaporada [kg.m ⁻²]						
horas	CTRL_VB1	CTRL_VB2	CTRL_VB3	CTRL_VB4	NE_VB1	NE_VB2	NE_VB3
0,0	9,686	9,606	9,577	9,905	9,817	9,365	9,657
1,0	9,523	9,492	9,445	9,790	9,661	9,270	9,547
2,0	9,385	9,414	9,335	9,693	9,559	9,213	9,468
3,0	9,325	9,320	9,225	9,590	9,464	9,121	9,363
4,0	9,190	9,219	9,102	9,466	9,329	9,020	9,246
5,0	9,083	9,132	8,991	9,366	9,222	8,938	9,148
6,0	8,978	9,045	8,883	9,270	9,113	8,858	9,051
7,0	8,873	8,967	8,784	9,168	9,014	8,785	8,952
24,0	6,992	7,561	6,975	7,507	7,308	7,508	7,286
48,0	4,825	5,800	4,836	5,430	5,216	5,853	5,225
120,0	1,580	1,941	1,499	1,601	1,417	1,746	1,621
144,0	1,304	1,603	1,201	1,276	1,125	1,357	1,319
168,0	1,083	1,343	0,971	1,040	0,888	1,074	1,076
192,0	0,864	1,096	0,758	0,817	0,671	0,816	0,843
216,0	0,709	0,919	0,621	0,657	0,526	0,635	0,680
336,0	0,551	0,616	0,601	0,594	0,463	0,384	0,518
360,0	0,524	0,581	0,544	0,525	0,382	0,348	0,486
384,0	0,521	0,566	0,541	0,515	0,384	0,341	0,484
456,0	0,489	0,493	0,518	0,308	0,361	0,304	0,462
480,0	0,447	0,465	0,510	0,159	0,324	0,265	0,425
504,0	0,430	0,430	0,491	0,096	0,295	0,238	0,399

Tabela A.III 19 – Quantidade de água libertada pelos provetes consolidados e pigmentados com OA – ensaio de secagem

Horas	Água evaporada [kg.m ⁻²]						
	CTRL_OA1	CTRL_OA2	CTRL_OA3	NE_OA1	NE_OA2	NE_OA3	NE_OA4
0,0	9,532	9,628	9,630	9,586	9,542	9,310	9,540
1,0	9,462	9,545	9,532	9,514	9,463	9,229	9,453
2,0	9,414	9,474	9,445	9,457	9,366	9,132	9,341
3,0	9,339	9,327	9,323	9,370	9,295	9,055	9,233
4,0	9,255	9,191	9,193	9,282	9,195	8,946	9,104
5,0	9,192	9,070	9,086	9,211	9,105	8,860	8,993
6,0	9,131	8,947	8,984	9,135	9,015	8,778	8,885
7,0	9,072	8,833	8,884	9,064	8,933	8,707	8,781
24,0	8,087	6,921	7,329	7,764	7,444	7,477	6,978
48,0	6,635	4,515	5,215	6,086	5,489	5,749	4,729
120,0	2,779	1,780	1,780	2,087	1,724	1,668	1,515
144,0	2,318	1,522	1,486	1,730	1,424	1,324	1,252
168,0	2,004	1,305	1,254	1,452	1,185	1,065	1,032
192,0	1,705	1,079	1,025	1,177	0,945	0,820	0,817
216,0	1,462	0,893	0,866	0,955	0,756	0,631	0,656
336,0	0,962	0,651	0,808	0,614	0,543	0,374	0,584
360,0	0,894	0,615	0,787	0,568	0,459	0,332	0,544
384,0	0,851	0,611	0,786	0,556	0,454	0,331	0,542
456,0	0,719	0,569	0,764	0,474	0,388	0,288	0,515
480,0	0,651	0,532	0,747	0,418	0,355	0,245	0,471
504,0	0,595	0,499	0,720	0,405	0,339	0,233	0,449

Tabela A.III 20 – Valores de TS1, TS2 e IS obtidos no ensaio de secagem para os provetes pigmentados com OA

	CTRL_OA1	CTRL_OA2	CTRL_OA3	NE_OA1	NE_OA2	NE_OA3	NE_OA4
TS1	0,060	0,077	0,093	0,065	0,088	0,090	0,100
TS2	0,888	0,825	0,907	0,945	0,943	0,967	0,888
IS	0,019	0,016	0,017	0,018	0,017	0,017	0,016

Tabela A.III 21 – Valores de TS1, TS2 e IS obtidos no ensaio de secagem para os provetes pigmentados com VB

	CTRL_VB1	CTRL_VB2	CTRL_VB3	CTRL_VB4	NE_VB1	NE_VB2	NE_VB3
TS1	0,122	0,093	0,117	0,104	0,116	0,079	0,096
TS2	0,881	0,932	0,894	0,972	0,969	0,961	0,930
IS	0,171	0,198	0,171	0,172	0,164	0,181	0,176